

《奥氏体锰钢铸件》国际标准解读

徐维玲¹, 徐世岐², 王仲勋¹, 秦广华³, 崔兰芳⁴

(1. 烟台职业学院, 山东烟台 264670; 2. 山东交通学院, 山东威海 264200;
3. 全国铸造标准化技术委员会, 辽宁沈阳 110022; 4. 烟台市标准计量检验检测中心, 山东烟台 264003)

摘要: 介绍了ISO 13521 “Austenitic manganese steel castings” 标准的发展过程和ISO 13521: 2023的主要内容、标准特点和应用。介绍了热处理、化学成分、显微组织对奥氏体锰钢材料性能的影响。介绍了ISO 13521: 2023和GB/T 5680—2023《奥氏体锰钢铸件》的牌号对照, 便于标准使用者充分理解本标准, 更好地指导我国该领域技术进步, 促进我国奥氏体锰钢产业发展。

关键词: 耐磨钢; 奥氏体锰钢; 国际标准; 标准解读

1 概况

锰钢是由罗伯特·哈德菲尔德 (Robert Hadfield) 在1882年发现, 化学成分为12.5%Mn和1.2%C, Mn/C比为10:1, 该化学成分钢被命名为哈德菲尔德 (Hadfield) 锰钢^[1]。

奥氏体锰钢是一种性能优异的耐磨钢, 该材料组织为单相奥氏体。生产工艺简单, 制造成本低, 具有高硬度、高强度、高韧性与塑性、易加工硬化, 具有高耐磨性和具有一定强度的特点, 是冲击磨损条件下使用的钢种。它的耐磨性优良, 适用于在磨损严重的工况下使用, 如矿山机械、建筑机械等领域。

此外, 奥氏体锰钢铸件还具有较好的耐腐蚀性能, 可以在恶劣的工作环境中长期使用。在非强烈冲击载荷条件下, 奥氏体高锰钢不能发挥其加工硬化特性, 因为其较软的奥氏体基体, 钢的耐磨性不如一般的铸铁^[2], 在冲击磨损条件下, 奥氏体高锰钢具有极大的表面加工硬化能力, 形成硬化层, 提高了硬度, 抗磨损能力增强。同时, 高锰钢水韧处理后具有优异的韧性和塑性, 适用于承受大冲击载荷的挖掘、破碎等设备。

ISO 13521: 2023 Austenitic manganese steel castings 《奥氏体锰钢铸件》^[3] (第三版) 由ISO/TC 17/SC 11铸钢件技术委员会于2023年2月发布。

GB/T 5680—2023《奥氏体锰钢铸件》国家标准于2023年5月23日发布并实施。GB/T 5680—2023国家标准参考ISO 13521: 2015 Austenitic manganese steel castings 《奥氏体锰钢铸件》国际标准修改, 规定了奥氏体锰钢铸件的订单信息、制造工艺、材料牌号、技术要求、试验方法、检验规则及标志、合格证、包装、运输和贮存。GB/T 5680—2023标准适用于受冲击负荷的耐磨损奥氏体锰钢铸件。其他工况的耐磨损奥氏体锰钢铸件也可参照执行^[4]。

我国目前发布的有关锰钢铸件的行业标准有: JB/T 6404—2017《大型高锰钢铸件 技术条件》、JB/T 5940—2018《工程机械 高锰钢铸件通用技术条件》、JC/T 401.1—2011《建材机械用铸钢件 第1部分: 高锰钢铸件技术条件》等。

作者简介:

徐维玲 (1970—), 女, 工程硕士, 副教授, 研究方向为先进机械装备设计及制造、机械工程领域高效精密加工工艺和金属材料加工工艺与性能等。E-mail: wlkml99@163.com

中图分类号: TG26

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2024)

05-0715-05

基金项目:

山东省高等学校青创科技支持计划 (2019KJB001); 烟台市科创助力新旧动能转换课题 (KXDNY2023-14)。

收稿日期:

2023-09-21 收到初稿,

2023-12-05 收到修订稿。

2 奥氏体锰钢的牌号

表1给出了ISO 13521: 2023与GB/T 5680—2023^[4]的牌号对照表。GB/T 5680—2023与ISO 13521: 2023相比,增加了ZG120Mn13W、ZG120Mn13CrMo两个牌号。

表1 牌号对照表
Table 1 Cross-references of grade designations from ISO 13521: 2023 to GB/T 5680—2023

ISO 13521: 2023		GB/T 5680—2023
牌号	编号	
GX120MnMo7-1	1.3415	ZG120Mn7Mo
GX110MnMo13-1	1.3416	ZG110Mn13Mo
GX100Mn13	1.3406	ZG100Mn13
GX120Mn13	1.3802	ZG120Mn13
GX120MnCr13-2	1.3410	ZG120Mn13Cr2
-	-	ZG120Mn13W
-	-	ZG120Mn13CrMo
GX120MnNi13-3	1.3425	ZG120Mn13Ni3
GX120Mn18	1.3407	ZG120Mn18
GX90MnMo14	1.3417	ZG90Mn14Mo
GX120MnCr18-2	1.3411	G120Mn18Cr2

ISO 13521: 2023牌号中的铸钢代号为“GX”, 碳元素之外的合金元素含量标识在所有合金元素符号之后, 如GX120MnMo7-1。

按照GB/T 5613—2014《铸钢牌号表示方法》的规定: 铸钢代号用“铸”和“钢”两字的汉语拼音的第一个大写正体字母“ZG”表示。在牌号中“ZG”后面以一组(两位或三位)阿拉伯数字表示铸钢的名义碳含量(以万分之几计)。在名义碳含量后面排列各主要合金元素符号, 在元素符号后用阿拉伯数字表示合金元素名义含量(以百分之几计)。

3 ISO 13521: 2023规定的奥氏体锰钢的主要技术要求

3.1 通用交货要求

ISO 13521: 2023第4章规定: 按照本文件提供的材料应符合ISO 4990的规定, 包括供需双方在订单中商定的补充要求。ISO 4990: 2015 Steel castings-general technical delivery requirements《铸钢件通用交货技术要求》规定了铸钢件、镍合金铸件和钴合金铸件的通用交货技术要求, 包括试块和试样的选取和制备要求。当材料或产品的交货规范与本标准不一致时, 应按该材料标准或产品标准执行。在特殊情况下, 可在订货时通过协商修改这些技术条件。熔模铸件应按ISO

16468: 2015的规定执行。ISO 4990: 2015还规定了适用于铸钢件、镍合金铸件和钴合金铸件的一系列补充要求, 这些补充要求仅用于需方规定的附加试验和检测, 并且仅适用于客户单独指定的情况。

3.2 热处理

水韧处理温度(水淬固溶热处理)不低于1 040 °C, 以确保铸件中的碳化物均匀、固溶。当铸件厚度小于45 mm且含碳量低于0.8%时, GX90MnMo14可不经热处理直接供货。

铸态高锰钢的组织通常由奥氏体、网状渗碳体和部分珠光体构成, 由于网状碳化物是沿奥氏体晶界析出, 铸态高锰钢力学性能极差, 塑性低、脆性大, 因此, 铸态高锰钢未经水韧处理不能使用^[5]。水韧处理的目的是获得单一奥氏体组织, 否则很容易导致多相组织的生成, 水韧温度过低、保温时间过短及冷却速度过慢等都会导致碳化物的存留或析出^[6]。

3.3 化学成分

ISO 13521: 2023规定了9个牌号的C、Si、Mn、P、S、Cr、Mo和Ni的化学成分范围, 见表2。Mn元素为扩大奥氏体相区的元素, 较高的锰含量对单一奥氏体组织稳定性有利, 在不影响材料加工硬化特征的情况下, 可以有效抑制铸态下碳化物的析出和生长, 加速渗碳体在热处理时充分溶解的过程。锰含量为11%~14%的锰钢是一种加工硬化钢。它结合了抗加工硬化和耐磨特性以及高韧性和延展性。在使用过程中, 钢材可能会受到反复的冲击或磨损, 从而使钢材加工硬化。

硅含量过高会降低冲击吸收能量和耐磨性, 过低会影响钢的强度。合金化可以改善奥氏体锰钢的组织, 提高其力学性能和耐磨性^[5]。通常在奥氏体锰钢中加入W、Cr、Mo、V、Ti等合金元素对钢进行合金化改性, 以达到细化晶粒、改善其组织中碳化物形态、数量和厚壁铸件心部的晶粒度, 可有效提高钢的抗拉强度、硬度和耐磨性^[7-8]。

奥氏体锰钢中加Mo在熔融状态下可以增加外来形核, 起到细化晶粒的作用。Mo固溶于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的形态与分布, 在奥氏体中弥散析出使钢弥散强化。Mo可以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、质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

表2 ISO 13521: 2023化学成分表
Table 2 Chemical composition of the austenitic manganese steel specified in ISO 13521: 2023

牌号	编号	C	Si	Mn	P max.	S max.	Cr	Mo	Ni
GX120MnMo7-1	1.3415	1.05~1.35	0.3~0.9	6.0~8.0	0.060	0.045	-	0.9~1.2	-
GX110MnMo13-1	1.3416	0.75~1.35	0.3~0.9	11.0~14.0	0.060	0.045	-	0.9~1.2	-
GX100Mn13	1.3406	0.90~1.05	0.3~0.9	11.0~14.0	0.060	0.045	-	-	-
GX120Mn13	1.3802	1.05~1.35	0.3~0.9	11.0~14.0	0.060	0.045	-	-	-
GX120MnCr13-2	1.3410	1.05~1.35	0.3~0.9	11.0~14.0	0.060	0.045	1.5~2.5	-	-
GX120MnNi13-3	1.3425	1.05~1.35	0.3~0.9	11.0~14.0	0.060	0.045	-	-	3.0~4.0
GX120Mn18	1.3407	1.05~1.35	0.3~0.9	16.0~19.0	0.060	0.045	-	-	-
GX90MnMo14	1.3417	0.70~1.00	0.3~0.6	13.0~15.0	0.070	0.045	-	1.0~1.8	-
GX120MnCr18-2	1.3411	1.05~1.35	0.3~0.9	16.0~19.0	0.060	0.045	1.5~2.5	-	-

性能全面提高。Mo的加入使大断面奥氏体锰钢铸件韧性大幅度提高，因此含Mo量较多，而铸件厚度<45 mm，GX90MnMo14可以不固溶处理^[9]。

GB/T 5680—2023规定了11个牌号奥氏体锰钢铸件的C、Si、Mn、P、S、Cr、Mo、Ni和W元素的化学成分范围，并规定可加入微量V、Ti、Nb、B和RE等元素，见表3。

与ISO 13521: 2023相比，我国标准降低了奥氏体锰钢铸件中有害元素S含量，各牌号含S量最大值为0.040%，提高含S量技术要求，可以更好规范和控制奥氏体锰钢铸件的质量。根据我国技术研发和生产应用的实际经验和效果，在标准中规定了牌号ZG120Mn13W和ZG120Mn13CrMo及其技术要求。

表3 GB/T 5680—2023化学成分表
Table 3 Chemical composition of the austenitic manganese steel specified in GB/T 5680—2023

材料牌号	主要化学成分（质量分数，%）								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	W
ZG120Mn7Mo	1.05~1.35	0.3~0.9	6~8	≤0.060	≤0.040	-	0.9~1.2	-	-
ZG110Mn13Mo	0.75~1.35	0.3~0.9	11~14	≤0.060	≤0.040	-	0.9~1.2	-	-
ZG100Mn13	0.90~1.05	0.3~0.9	11~14	≤0.060	≤0.040	-	-	-	-
ZG120Mn13	1.05~1.35	0.3~0.9	11~14	≤0.060	≤0.040	-	-	-	-
ZG120Mn13Cr2	1.05~1.35	0.3~0.9	11~14	≤0.060	≤0.040	1.5~2.5	-	-	-
ZG120Mn13W	1.05~1.35	0.3~0.9	11~14	≤0.060	≤0.040	1.5~2.5	-	-	0.9~1.2
ZG120Mn13CrMo	1.05~1.35	0.3~0.9	11~14	≤0.060	≤0.040	1.5~2.5	-	-	-
ZG120Mn13Ni3	1.05~1.35	0.3~0.9	11~14	≤0.060	≤0.040	-	-	3~4	-
ZG120Mn18	1.05~1.35	0.3~0.9	16~19	≤0.060	≤0.040	-	-	-	-
ZG90Mn14Mo	0.70~1.00	0.3~0.6	13~15	≤0.070	≤0.040	-	1.0~1.8	-	-
ZG120Mn18Cr2	1.05~1.35	0.3~0.9	16~19	≤0.060	≤0.040	1.5~2.5	-	-	-

3.4 力学性能

3.4.1 通用要求

ISO 13521: 2023规定：经供需双方商定，应进行室温力学性能测试。ISO 13521: 2023规范了钢的化学成分、弯曲性能试验和硬度试验，经供需双方商定，可进行金相检验。

根据我国生产应用的实际经验，在选择“经供需双方商定，室温条件下可检验铸件、试块和试样的金相组织、拉伸性能、冲击性能、弯曲性能以及无损检

测铸件质量中至少一项作为产品检验的项目”，可以规范和控制奥氏体锰钢铸件的质量。我国厂矿企业较少使用弯曲性能检验方法。

3.4.2 弯曲试验

弯曲试验是测定金属材料承受弯曲塑性变形能力的试验方法，ISO 13521: 2023规定：弯曲试验应按照ISO 7438的规定。弯曲试样的类型和取样位置应由供需双方商定。在室温条件下（18~28℃），试样弯曲150°

后不应断裂成两块或两块以上。若弯曲试验后试样表面有裂纹，但试样仍保持在一块上，视为合格。

3.4.3 硬度测试

高锰钢是一种耐磨钢，经过水韧处理后可以得到较好的塑性和冲击韧性，其HBW硬度大于210。

按照ISO 6506（系列部分）的规定。高锰钢的硬度测试，其HBW硬度应不高于300，除非供需双方另有规定。当铸件需要机加工时，可能需要控制硬度，这种情况下，应在热处理后和机加工之前进行硬度测试。

3.5 显微组织

ISO 13521: 2023规定：经供需双方商定，应进行金相检查。标准显微组织图谱可由供需双方商定。ISO没有专门针对奥氏体锰钢金相组织的标准。

铸造高锰钢经水韧处理后的显微组织为奥氏体或奥氏体加少量碳化物，见图1^[10]，奥氏体锰钢组织粗大，晶界残留碳化物不能完全消除是导致奥氏体锰钢性能恶化的主要原因。



图1 奥氏体锰钢的显微组织（500×）

Fig. 1 The photograph of the austenitic manganese steel (500×)

3.6 附加要求

ISO 4990中包括由需方自行决定的附加要求，经供需双方商定，可与本标准一起使用。ISO 4990: 2015附录B涉及的内容主要包括：铸造要点（熔炼工艺流程、检验批的重量、重量和重量公差、残余元素的分析）、力学性能试验（高温力学性能试验、布氏硬度试验、其他硬度试验、低温冲击试验）、检验批次的均匀性、试块、焊补、热处理、无损测试（渗

透检测、磁粉检测、射线检测、超声检测、目视检测、焊缝区域检测）、其他试验（晶间腐蚀试验、磁性实验、气密性试验）、表面处理要求、热等静压试验（HIP）等。当订单中有特殊要求时，可采用ISO 4990: 2015的附录B补充要求中的一项或多项，补充要求应在订货合同中确定。指定的试验应在铸钢件发运前完成。

4 标准特点及应用

ISO 13521: 2023标准的奥氏体锰钢主要分为3个系列：Mn7钢系列，包括GX120MnMo7-1；Mn13（Mn14）钢系列，Mn13系列包括GX110MnMo13-1、GX100Mn13、GX120Mn13、GX120MnNi13-3，Mn14钢包括GX90MnMo14；Mn18钢系列，包括GX120Mn18、GX120MnCr18-2。奥氏体锰钢根据锰在钢中的含量分为中锰耐磨钢（5%~9%Mn）、高锰耐磨钢（12%~14%Mn）和超高锰耐磨钢（15%~30%Mn）。中锰耐磨钢由于锰含量较低，其组织稳定性较差，使用过程中易诱发马氏体转变，耐磨性比高锰钢好，但韧性较低，主要在冲击载荷较小的工况下使用。高锰耐磨钢锰含量较高，其组织稳定性较中锰钢好，冲击韧性高，适用于冲击载荷较高的工况下使用，超高锰钢锰含量一般在15%以上，主要用于改善厚大铸件中心组织均匀性，使厚大铸件中心部位获得完全奥氏体组织，提高其加工硬化能力^[7]。

奥氏体锰钢主要用于冶金、建材、电力、建筑、铁路、国防、煤炭、化工和机械等行业的受不同程度冲击负荷的磨损工况，用于挖掘、破碎、研磨、铁道运输等具体工况^[11]。奥氏体锰钢通常用来铸造大型球磨机衬板、颚式破碎机颚板、大型破碎机锤头、铁路轨道等部件^[5]。

5 结束语

ISO 13521: 2023规定了耐磨奥氏体锰钢，该标准中包含的牌号适用于表面受冲击载荷的环境。本文介绍了ISO 13521: 2023的主要内容、标准特点和应用。介绍了热处理、化学成分、显微组织对奥氏体锰钢材料性能的影响，同时给出了ISO 13521: 2023和GB/T 5680—2023《奥氏体锰钢铸件》的牌号对照，便于标准使用者充分理解本标准，更好地指导我国该领域的技术进步，促进我国奥氏体锰钢产业发展。

参考文献:

- [1] ROSHAN Jacob, RAMAN SANKARANARAYANAN S, KUMARESH BABU S P. Recent advancements in manganese steels—a review [J]. *Materials Today: Proceedings*, 2020, 27: 2852–2858.
- [2] 谢敬佩, 何彦永. 国内外奥氏体锰钢发展概述. *洛阳工学院学报* [J]. 1990 (12): 12–17.
- [3] ISO. Austenitic manganese steel castings: ISO 13521: 2023 [S]. Switzerland, 2023.
- [4] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 奥氏体锰钢铸件: GB/T 5680—2023 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2023.
- [5] 郑红红, 赵爱民, 曹佳丽, 等. 水韧处理对高锰钢铸件组织与性能的影响. *金属热处理* [J]. 2014, 2: 112–115.
- [6] 张燕平, 李东南. 不同壁厚高锰钢铸件水韧处理与耐磨性的研究 [J]. *热加工工艺*, 2013, 42 (8): 173–176.
- [7] 宋延沛, 周汉, 陈丹萍, 等. 铸造耐磨材料的研究应用现状及发展趋势 [J]. *铸造*, 2022, 71 (12): 1477–1484.
- [8] 苏冬雪, 崔宇琳, 王满富, 等. 合金化处理对高碳高锰钢组织与性能的影响 [J]. *大连交通大学学报*, 2018, 39 (6): 82–87.
- [9] 王定祥, 孙平. 我国耐磨钢铁材料标准应用概况 [C]// 2014中国铸造活动周论文集. 2014: 1–9.
- [10] 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. 《铸造高锰钢金相》: GB/T 13925—2010 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [11] 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. 《奥氏体锰钢铸件》: GB/T 5680—2010 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.

Interpretation of ISO 13521: 2023 Austenitic Manganese Steel Castings

XU Wei-ling¹, XU Shi-qi², WANG Zhong-xun¹, QIN Guang-hua³, CUI Lan-fang⁴

(1. Yantai Vocational College, Yantai 264670, Shandong, China; 2. Shandong Jiaotong University, Weihai 264200, Shandong, China; 3. SAC/TC54, Shenyang 110022, Liaoning, China; 4. Yantai Standards Measurement Inspection and Testing Center, Yantai 264003, Shandong, China)

Abstract:

This paper introduces the history of ISO 13521 “Austenitic Manganese Steel Castings”, the main contents of ISO 13521: 2023, standard characteristic and typical applications. The effects of heat treatment, chemical composition and microstructure on the properties of austenitic manganese steel are introduced. It introduces the main technical differences between ISO 13521: 2023 and GB/T 5680—2023, and cross-references of grade designations. It is expected to let relevant standard users fully understand the contents of the new standard, and better guide the technical progress, and industrial development in this field, in order to promote technical requirements of Chinese austenitic manganese steel to run up to international advanced level.

Key words:

wear-resistant steel; austenitic manganese steel; international standard; interpretation of standard