

ISO 16112:2017 《蠕墨铸铁》标准解读

张寅

(沈阳铸造研究所有限公司, 辽宁沈阳 110022)

摘要: 本文介绍了 ISO 16112:2017 标准中规定的蠕墨铸铁的基本性能及金相组织、化学成分和碳当量、热处理等对性能的影响。蠕墨铸铁兼有灰铸铁和球墨铸铁的优良性能, 其抗拉强度和屈服强度高于大多数灰铸铁而低于球墨铸铁, 热传导性又接近于一般灰铸铁, 因此蠕墨铸铁被用来制造在高温下以及有较大的温度梯度下工作的零件, 使用蠕墨铸铁还能节省废钢。蠕墨铸铁的石墨形状为短而厚、紧密, 在共晶团内蠕虫状石墨分枝生长而又紧密联系在一起。在 ISO 16112 标准中没有规定蠕墨铸铁的化学成分, 制造商可以自行控制化学成分, 通过合金化获得不同牌号蠕墨铸铁。蠕墨铸铁具有断面敏感性, 其组织和性能也会随着铸件结构和壁厚的变化而发生改变。

关键词: 蠕墨铸铁; 石墨形态和尺寸; 力学性能; 导热性能; 断面敏感性

1 概述

在 ISO 16112:2017 标准的表 1 和表 2 中规定了蠕墨铸铁(或紧密石墨铸铁)的性能要求。蠕墨铸铁的抗拉强度和屈服强度比大多数灰铸铁高而低于球墨铸铁, 其热导性又接近于普通灰铸铁。

在光学显微镜下, 蠕墨铸铁的典型石墨形状如图 1 所示。灰铸铁的 A 型片状石墨在通常情况下为两侧面光滑、片长、较薄、端部较尖, 与灰铸铁不同, 蠕墨铸铁的石墨形态为短而厚、紧密, 由此得名紧密石墨铸铁。由于受到铸件断面敏感性的影响, 在蠕墨铸铁中经常会观察到球状石墨, 如图 2 所示。

在厚壁铸铁件中, 氮含量达到一定浓度后会出现蠕虫状石墨。按照 ISO 16112, 通过控制残留镁量来生产球墨铸铁, 球墨铸铁的残留镁量范围为 0.04%~0.06%, 而蠕墨铸铁的残留镁量范围为 0.015%~0.025%。

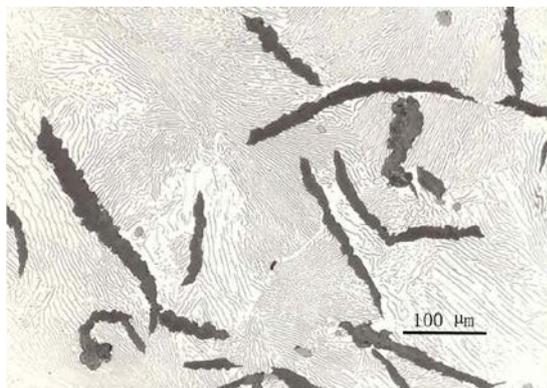


图 1 珠光体蠕墨铸铁

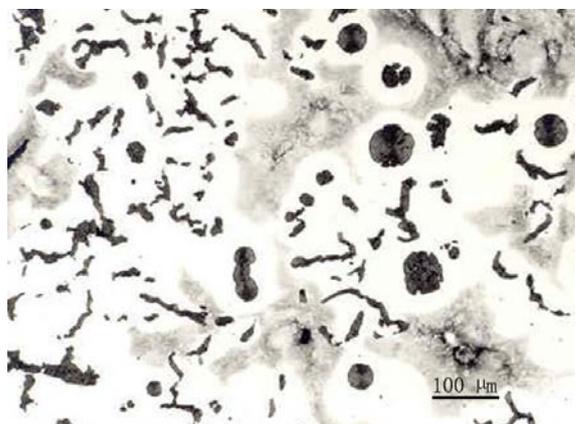


图 2 蠕墨铸铁中的球状石墨

2 蠕墨铸铁的特点

蠕墨铸铁的性能介于灰铸铁和球墨铸铁之间, 且热导率接近于一般灰铸铁, 灰铸铁、蠕墨铸铁和球墨铸铁的热导率对比情况见表 1。在高温下以及有较大的温度梯度下工作的零件, 对导热性能要求较高、且灰铸铁的强度或者其他性能不能满足应用要求的场合, 可以选用蠕墨铸铁。因为经过蠕化处理, 蠕墨铸铁的石墨片变得短而粗, 端部圆钝, 对铸铁基体的割裂作用显著降低, 使蠕墨铸铁的拉伸性能要优于灰铸铁, 因此蠕墨铸铁同时具有优良的力学性能和导热性能, 适用于汽车工业的气缸体、缸盖等, 以及其他应用领域。

2.1 金相组织对蠕墨铸铁性能的影响

经过深腐蚀处理后, 在电子显微镜下对蠕墨铸铁试样进行观察表明, 与灰铸铁中的片状石墨一样, 蠕虫状石墨也存在于共晶团内, 紧密程度较

大，内部仍是相互联系的立体分枝型石墨，如图 3 所示。由于蠕墨铸铁内的球化元素在液相内有偏聚现象，球化元素浓度高的地方，可能会出现单独存在的球状石墨。一般情况下，蠕墨铸铁的基体组织在铸态时以铁素体为主，并含有一定量的珠光体。

由于蠕墨铸铁的生产工艺与球墨铸铁相似，蠕墨铸铁也可以通过合金化或者热处理的手段对基体组织进行改进，从而获得一系列力学性能，因此蠕墨铸铁的大多数性能介于灰铸铁和球墨铸铁之间。

表 1 灰铸铁、蠕墨铸铁和球墨铸铁的热导率对比

灰铸铁、蠕墨铸铁和球墨铸铁在不同温度下的热导率对比 (W/(m ² ·K))						
材料牌号	温度 (°C)	JL/150	JL/200	JL/250	JL/300	JL/350
灰铸铁	100	66	53	51	48	45
	400	47	44	42	41	40
材料牌号	温度 (°C)	JV/300	JV/350	JV/400	JV/450	JV/500
球墨铸铁	100	45	42	39	37	35
	400	42	40	38	36	34
材料牌号	温度 (°C)	JS/400-18	JS/500-10	JS/600-3	JS/700-2	JS/900-2
蠕墨铸铁	100	36	35	33	31	31
	400	36	35	32	31	31

ISO 16112:2017中的表1规定了蠕墨铸铁的五个牌号，其单铸和附铸试样的力学性能见表1和表2。蠕墨铸铁牌号越高，其抗拉强度越高，塑性越低。强度最低的JV/300蠕墨铸铁的基体组织主要为铁素体，强度最高的JV/500蠕墨铸铁的基体组织则全部为珠光体，而中等强度蠕墨铸铁的基体组织为由铁素体和珠光体组成。蠕墨铸铁中通常会加入一些合金元素来对其性能进行改进，从而得到不同牌号的蠕墨铸铁。采用合金化来调控蠕墨铸铁的性能有助于为蠕墨铸铁的生产工艺和原材料质量控制提供更多的选择余地。例如，通过调整合金元素及其添加量，采用不同厂家、不同质量的废钢均可以生产出性能、组织合格的蠕墨铸铁。蠕墨铸铁常用的

合金元素与球墨铸铁一样，一般使用铜或锡作为合金元素。

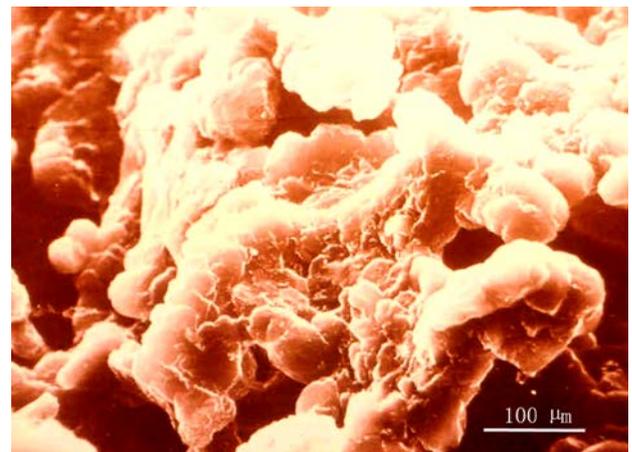


图 3 蠕墨铸铁经深腐蚀后共晶团

表 1 蠕墨铸铁单铸试样的力学性能

牌号	抗拉强度 R_m , MPa(min)	0.2%屈服强度 $R_{p0.2}$, MPa(min)	伸长率 A , % (min)	典型的布氏硬度范围 HBW	主要基体组织
ISO 16112/JV/300/S	300	210	2.0	140~210	铁素体
ISO 16112/JV/350/S	350	245	1.5	160~220	铁素体+珠光体
ISO 16112/JV/400/S	400	280	1.0	180~240	珠光体+铁素体
ISO 16112/JV/450/S	450	315	1.0	200~250	珠光体
ISO 16112/JV/500/S	500	350	0.5	220~260	珠光体

表 2 蠕墨铸铁附铸试样的力学性能

牌号	主要壁厚 t , mm	抗拉强度 R_m , MPa(min)	0.2%屈服强度 $R_{p0.2}$, MPa(min)	伸长率 A , (min)%	典型的布氏硬度范围 HBW	主要基体组织
ISO 16112/JV/300/U	$t \leq 12.5$	300	210	2.0	140~210	铁素体
	$12.5 < t \leq 30$	300	210	2.0	140~210	
	$30 < t \leq 60$	275	195	2.0	140~210	
	$60 < t \leq 120$	250	175	2.0	140~210	
ISO 16112/JV/350/U	$t \leq 12.5$	350	245	1.5	160~220	铁素体+珠光体
	$12.5 < t \leq 30$	350	245	1.5	160~220	

	30<t≤60	325	230	1.5	160~220	
	60<t≤120	300	210	1.5	160~220	
ISO 16112/JV/400/U	t≤12.5	400	280	1.0	180~240	珠光体+ 铁素体
	12.5<t≤30	400	280	1.0	180~240	
	30<t≤60	375	260	1.0	180~240	
	60<t≤120	325	230	1.0	180~240	
ISO 16112/JV/450/U	t≤12.5	450	315	1.0	200~250	珠光体
	12.5<t≤30	450	315	1.0	200~250	
	30<t≤60	400	280	1.0	200~250	
	60<t≤120	375	260	1.0	200~250	
ISO 16112/JV/350/U	t≤12.5	500	350	0.5	220~260	珠光体
	12.5<t≤30	500	350	0.5	220~260	
	30<t≤60	450	315	0.5	220~260	
	60<t≤120	400	280	0.5	220~260	

2.2 化学成分和碳当量

在ISO 16112标准中没有规定蠕墨铸铁的化学成分，制造商可以自行控制化学成分，通过合金化获得不同牌号的蠕墨铸铁。与球墨铸铁相似，蠕墨铸铁不需要像灰铸铁那样控制碳当量。不同牌号的蠕墨铸铁碳、硅含量范围可以控制的很窄，如表3所示。为了保持铸件具有较好的冲击韧性，蠕墨铸铁中的磷含量需要控制得很低，一般情况下应低于0.04%，磷对蠕墨铸铁碳当量的影响可以忽略不计。在实际生产中，生产厂家一般将蠕墨铸铁的碳当量控制在共晶碳当量（4.25%）附近。

表3 蠕墨铸铁的成分范围

碳含量（%）	3.40~3.90
硅含量（%）	2.40~2.70 ^a
碳当量（%）	4.00~4.27

^aSi含量不限于表中列出的范围，可根据壁厚的不同进行调整。

2.3 石墨形态和尺寸

ISO 16112标准中规定蠕墨铸铁的石墨形态应至少有80%为蠕虫状石墨，即ISO 945-1中规定的III型石墨，剩余的石墨只能是V型或VI型石墨，ISO 945-1中规定的六种石墨类型见图4所示。

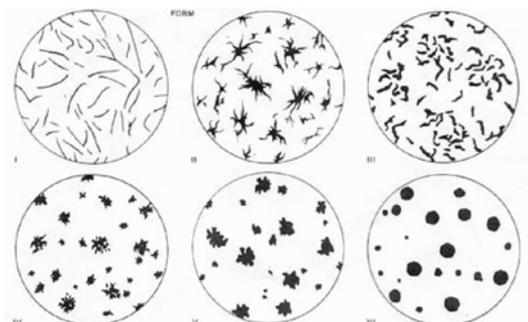


图4 ISO 945-1中规定的石墨形态

ISO 16112附录B中规定蠕墨铸铁的球化率处于5%~20%之间，同时规定了石墨尺寸和圆整度的评定方法。测试试样可以在100X放大倍率下与标准球化率显微组织图进行比较评定。

按照ISO 945-1的规定，在评定球墨铸铁和蠕墨铸铁的球化率时，都需要分析III、IV、V和VI型石墨的数量，规定蠕墨铸铁球化率是蠕墨铸铁中石墨球数的最大值，球墨铸铁球化率是其中石墨球数的最小值。换言之，蠕墨铸铁中球状石墨的数量不能过多，需要控制在一个合理的范围内。

考虑到不同壁厚会对蠕墨铸铁的石墨尺寸及形状产生影响，因此ISO 16112中B.10部分要求供需双方应协商确定检测球化率的取样位置，以保证检测结果的一致性。

ISO 945-1将石墨球按尺寸大小划分了八个等级。必要时，在规定蠕墨铸铁中石墨形态的同时对石墨球的尺寸等级进行规定。

2.4 蠕墨铸铁的断面敏感性

与其它铸铁材料一样，蠕墨铸铁的组织和性能也会随着铸件结构和壁厚的变化而发生改变。设计师和工程师应该了解这一点，以便在设计时充分发挥材料的性能优势。

蠕墨铸铁的生产工艺与球墨铸铁相似，而其断面敏感性与灰铸铁更加接近，这是因为蠕墨铸铁和灰铸铁中都会形成共晶团。随着铸件壁厚的增加，铁液的凝固速率降低，形成球状石墨的趋势也减弱。因此，厚壁铸件中的石墨球数要少于薄壁铸件，其性能也会有差别。ISO 16112:2017中表2对附铸试块力学性能的要求是随着壁厚的增加，对材料的性能要求降低。

蠕墨铸铁中石墨球数的增加可以提高其拉伸强度和延伸率，但是球状石墨的增多也会导致材料的导热性能下降。如前所述，蠕墨铸铁在性能上的最大优势就是其强度高于灰铸铁的同时还保持了与灰铸铁相近的导热性能，因此需要对蠕墨铸铁中球状石墨的数量进行控制。

由于蠕墨铸铁中球状石墨数量的增多会降低其导热性能，从而影响其适用性。因此，设计师和工程师在确定铸件的关键壁厚尺寸时，需要综合考虑对力学性能和导热性能的要求，必要时，指定在这些关键位置进行金相检测。根据 ISO 16112，V型和VI型石墨的总量应不超过石墨数量的20%，因此对于确定的关键壁厚位置，其金相组织应符合这一要求。通常情况下，制造商可以通过调整生产工艺，使特定壁厚位置的金相组织满足要求。但是，如果铸件的壁厚非常不均匀，采用任何手段都不可能同时保证铸件不同壁厚位置的金相组织一致，这也是供需双方应协商确定金相组织检测位置的原因。

2.5 热处理

蠕墨铸铁通常情况下不需要专门进行热处理，但有时会对其采取一些补救性的热处理措施以使材

料性能满足要求。这些补救性的热处理措施主要包括退火和正火。对于某些形状复杂的铸件，为了防止其在机械加工过程中发生变形，往往需要对铸件进行去应力退火处理。

2.6 焊接

蠕墨铸铁不适宜焊接，而灰铸铁和球墨铸铁可以利用焊接进行修补。

3 蠕墨铸铁的应用

蠕墨铸铁主要应用于对散热要求比较严格的场合。JV/300蠕墨铸铁的强度最低（但也高于绝大多数的灰铸铁），塑性和导热性最好，因此JV/300蠕墨铸铁适用于对力学性能要求相对较低的场合，如排气管、气缸盖等。JV/500蠕墨铸铁的强度最高，且具有较好导热性能和一定的耐磨性，但几乎没有塑性，且由于其强度较高，JV/500蠕墨铸铁的抗疲劳性能也得到一定的改善，因此JV/500蠕墨铸铁一般用于铸造气缸体以及其它一些承受较高载荷的零部件。从JV/350到JV/450这些中等牌号的蠕墨铸铁的强度、耐磨性、抗疲劳性能和导热性能均处于JV/300和JV/500之间，常用于铸造底座、制动鼓、制动盘、泵体、气缸体和液压部件等。