

当代铸铁的最新国际标准与发展趋势

刘金城

(英国 Russell 公司, Bonchurch Street, Leicester LFS 5EP U. K)

摘要:介绍了当今球墨铸铁、ADI 和蠕墨铸铁最新技术标准,包括美国材料试验学会(ASM),美国汽车工程师协会(SAE),欧洲(EN)和国际标准组织(ISO)对这几种材料的最低力学性能要求,并阐述了其中的某些区别。针对这几种铸铁的特点,阐述了铸铁的最新发展趋势。

关键词:铸铁;国际标准;发展趋势

中图分类号:T-651 文献标识码:C 文章编号:1003-8345(2009)04-0016-07

The Most Recent Worldwide Standard Specifications for Cast Iron and its Development Trend

LIU Jing-cheng

(Russel Co., Ltd. Bonchurch Street Leicester LES 5EP U.K)

Abstract: The most current technical standard specifications for ductile iron, austempered ductile iron (ausferritic graphite cast iron) and compacted (vermicular) graphite cast iron are introduced including the minimum mechanical properties of these cast irons specified in ASTM standard, SAE standard, EN standard and ISO standard. The differences between above mentioned standards were described and, focused on the characteristics of theses cast irons, the development trend of current cast iron was also described.

Key words: cast iron; international standard; development trend

技术标准是新材料开发、推广、生产和应用的重要技术文件。对于生产厂家和用户来说,技术标准还是检验材料是否合格的验收依据。

自上世纪 40 年代发明球铁并于 1948 年投入工业化生产以来,铸铁作为人类社会最重要的工程材料之一有了突飞猛进的发展。当前发展最快的铸铁品种为球墨铸铁、等温淬火铸铁(Austempered Ductile Iron,简称 ADI;又称为奥铁体球铁)和蠕墨铸铁。在这些新型铸铁材料发展的初期,许多企业以及各国有关机构都对这几种铸铁材料制定了相应的技术标准。随着生产技术的发展,铸铁的性能不断提高,各国的铸铁技术标准也在不断变化和提高。表 1 给出了美国 ASTM 的 ADI 标准在不同年代的性能指标,可以看出:与 ASTM A897M-1990 相比,ASTM A897M-2003 的各牌号强度、伸长率有所提高;

ASTM A897M-2006 的标准则增加了 750/500/11 牌号,这是一种铁素体与奥铁体混合组织的球铁。随着各国铸铁技术标准的不断提高,国际标准组织的标准也随时进行制定和补充。当前最为世界各国企业广泛采用的技术标准为美国材料试验学会(ASM)、美国汽车工程师协会(SAE)、欧洲(EN)和国际标准组织(ISO)的技术标准,表 2 给出了制定这些标准的机构、标准名称和最新修订年代。

限于篇幅,笔者在此只介绍美国材料试验学

表 1 美国 ASTM A897 ADI 技术标准随年代的变化

Tab.1 Changes of ASTM A897 ADI standards with years

ASTM A897M-1990			ASTM A897M-2003			ASTM A897M-2006		
抗拉强	屈服强	伸长	抗拉强	屈服强	伸长	抗拉强	屈服强	伸长
度/MPa	度/MPa	率(%)	度/MPa	度/MPa	率(%)	度/MPa	度/MPa	率(%)
						750	500	11
850	550	10	900	650	9	900	650	9
1 050	700	7	1 050	750	7	1 050	750	7
1 200	850	4	1 200	850	4	1 200	850	4
1 400	1 100	1	1 400	1 100	2	1 400	1 100	2
1 600	1 300	N/A	1 600	1 300	1	1 600	1 300	1

收稿日期:2009-04-09 修定日期:2009-04-29

作者简介:刘金城(1964-),男,汉族,清华大学学士、硕士,英国曼彻斯特大学博士,英国铸造学会理事。现任英国 Russell 公司技术发展经理。

表 2 国际球铁、ADI 和蠕铁标准的制定机构及标准代号
Tab.2 Bodys and it's symbol number for ductile iron , austempered ductile iron,vermicular graphite iron in overseas

制定标准机构	标准代号		
	球墨铸铁	ADI 奥铁体球铁	蠕墨铸铁
国际标准组织	ISO 1083:2004	ISO 17804:2005	ISO 16112:2006
美国材料试验学会	ASTM A536-84 (2004)	ASTM A897/A897M-2006	ASTM A842-85 (2004)
美国汽车工程师学会	SAE J434:2004	SAE J2477:2004	SAE J1887:2007
欧洲标准组织	EN 1563:1997+A1: 2002+A2:2005	EN 1564:1997+A1: 2006	采用 ISO 16112: 2006

会 (ASTM)、美国汽车工程师协会 (SAE)、欧洲 (EN) 和国际标准组织 (ISO) 制定的最新球墨铸铁、ADI 和蠕墨铸铁技术标准中最重要的最低力学性能要求，并比对了其中的某些特点和区别，并由此推测了铸铁的最新发展趋势。

1 球墨铸铁

表 3~5 分别给出了最新的美国 ASTM A536-84 (2004)、欧洲 EN 1563:1997 和国际标准 ISO 1083:2004 中球墨铸铁的力学性能^[1-3]，表 6 给出了美国 SAE 标准中高硅-钼球铁标准 J2582 (2004)^[4]。值得注意的是国际标准 ISO 1083:2004 增加了 ISO 1083/JS/500-10 牌号，在附录标准 A (Normative Annex A) 中进行了说明。这种牌号最早由瑞典开发，1998 年成为瑞典国家标准 SS 140725^[5]，随后在 2004 年纳入 ISO 1083:2004。这是一种用 Si 进行溶质强化的铁素体基体球铁，与通常的球铁 500/7 相比，主要特点为伸长率高，硬度波动范围小，加工性能好。

表 3 美国材料试验学会球铁铸件标准
Tab.3 ASTM A536-84 (2004) Standard specification for ductile iron castings

牌 号	最低力学性能					基体组织 (参考)
	抗拉强度		屈服强度		伸长 率(%)	
	/Psi	/MPa	/Psi	/MPa		
60-40-18	60 000	414	40 000	276	18	铁素体
65-45-12	65 000	448	45 000	310	12	铁素体+珠光体
80-55-06	80 000	552	55 000	379	6	铁素体+珠光体
100-70-03	100 000	689	70 000	483	3	珠光体
120-90-02	120 000	827	90 000	621	2	回火马氏体

表 4 欧洲球铁标准 (BS EN 1563 : 1997)
Tab.4 European Standard Specification for Spheroidal graphite cast iron (BS EN 1563 : 1997)

标准号	牌号	力学性能 (最低值)		
		抗拉强度 / MPa	屈服强度 / MPa	伸长率 A (%)
EN-GJS-350-22-LT	EN-JS1015	350	220	22
EN-GJS-350-22-RT	EN-JS1014	350	220	22
EN-GJS-350-22	EN-JS1010	350	220	22
EN-GJS-400-18-LT	EN-JS1025	400	240	18
EN-GJS-400-18-RT	EN-JS1024	400	250	18
EN-GJS-400-18	EN-JS1020	400	250	18
EN-GJS-400-15	EN-JS1030	400	250	15
EN-GJS-450-10	EN-JS1040	450	310	10
EN-GJS-500-7	EN-JS1050	500	320	7
EN-GJS-600-3	EN-JS1060	600	370	3
EN-GJS-700-2	EN-JS1070	700	420	2
EN-GJS-800-2	EN-JS1080	800	480	2
EN-GJS-900-2	EN-JS1090	900	600	2

从单铸试块取样加工的 V-形试棒测试的最小冲击初度 (欧洲球铁标准 BS EN 1563:1997)
Minimum impact resistance values measured on V-notched test pieces machined from separately cast samples (BS EN 1563:1997)

标准号	牌号	最小冲击初度 J					
		在 (23±5) °C		在 (-20±2) °C		在 (-40±2) °C	
		三次 试验 平均值	单次 测试 值	三次 试验 平均值	单次 测试 值	三次 试验 平均值	单次 测试 值
EN-GJS-350-22-LT	EN-JS1015	-	-	-	-	12	9
EN-GJS-350-22-RT	EN-JS1014	17	14	-	-	-	-
EN-GJS-400-18-LT	EN-JS1025	-	-	12	9	-	-
EN-GJS-400-18-RT	EN-JS1024	14	11	-	-	-	-

表 5 国际标准 ISO1083-2004 球墨铸铁: 分级
Tab.5 ISO1083-2004 Spheroidal graphite cast iron: classification

牌号	抗拉强度 /MPa	屈服强度 /MPa	伸长率 (%)	硬度 (参考)	基体组织 (参考)
900/2	900	600	2	280~360	TM 回火马氏体
800/2	800	480	2	245~335	TP 回火珠光体
700/2	700	420	2	225~305	珠光体
600/3	600	370	3	190~270	珠光体+铁素体
500/7	500	320	7	170~230	珠光体+铁素体
450/10	450	310	10	160~210	珠光体+铁素体
400/15	400	250	15	130~180	铁素体
400/18	400	250	18	130~180	铁素体
350/22	350	220	22	≤150	铁素体

国际标准 ISO1083-2004 冲击韧度
ISO1083-2004 Impact specifications

标准号	冲击韧度最低值/J					
	23 ℃		(-20±2) ℃		(-40±2) ℃	
	三次试验 平均值	单次 测试值	三次试验 平均值	单次 测试值	三次试验 平均值	单次 测试值
350-22-LT	-	-	-	-	12	9
350-22-RT	17	14	-	-	-	-
400-18-LT	-	-	12	9	-	-
400-18-RT	14	11	-	-	-	-

500/7 是铁素体和珠光体混合基体组织球铁,其比例难以精确控制,所以硬度波动范围大,为 ± 25 HB;500/10 是铁素体基体,其硬度仅与铁素体的合金含量有关,相对容易控制,所以硬度波动范围小,为 ± 4 HB。瑞典 Indexator AB 公司从 2005 年起所有新的球铁都采用 500/10,并且把正在生产的球铁改为 500/10,其效果为:球铁硬度波动范围减小 75%,力学性能提高,齐一性提高,刀具寿命增加 30%^[5]。

当前球墨铸铁主要开发的方向,一为大断面球铁,特别是在低温条件下要求高冲击韧度的球铁;二为薄壁,壁厚为 2~3 mm 的球铁。

由于世界能源紧张和环境保护需求,世界对可再生能源和可持续发展的需求越来越紧迫。风能被认为是满足节能减排、可再生、能促进经济可持续发展的能源,因而风力发电机获得了迅速发展。风力发电机的发展趋势是大型化,越是大型风力发电机,输出功率和效率就越高。据统计大型风力发电机中有多种要求低温冲击韧度的铁素体球铁的铸件,每兆瓦达 13.44 t^[6]。大型风力发电机的迅速发展必然会给低温冲击韧度的铁素体球铁带来巨大的发展机会。核电是能源发展的另一个方向,核电站的核废料罐的需求会增加,这也是大断面球铁的一个需求例子。此外,在严寒地区运行的大型机械装备也需要在低温条件下要求高冲击韧度的球铁;而且,为了提高输出功率和效率,机械装备有大型化的趋势,这也为大断面球铁的发展带来了机会。

薄壁球铁的主要应用前景为形状复杂的薄壁(壁厚薄至 2 mm)结构件。采用的主要技术为控制化学成分、瞬时孕育和应用低导热性的造型材料等^[7-9]。目前,许多结构非常复杂的大型薄壁

铸件可以成功地用球铁铸造,从而提高了性能,减轻了重量,节约了能源。

美国 SAE 在 2004 年修订了应用于高温条件的高硅—钼球铁标准(见表 6)。高硅—钼球铁硅和钼的化学成分是必须保证的,其中 Si 较之普通球铁要高很多,用于提高转变温度 A_1 ;Mo 则用来提高高温热疲劳性能。从表中可以看出:3 种牌号的 $w(\text{Si})$ 量范围是一样的, $w(\text{Mo})$ 量则随牌号提高而增加;随着 $w(\text{Mo})$ 量的增加,抗拉强度和屈服强度增加,伸长率降低。高硅—钼球铁典型的微观基体组织主要为铁素体和少量分布在共晶团边界的富钼碳化物,它已被成熟地用来生产在高温条件下工作的发动机排气歧管和柴油机增压器部件等。

表 6 美国汽车工程师协会标准/高温使用的汽车球铁件
Tab.6 SAE J2582(2004) Automotive Ductile Iron Castings for High Temperature Applications

牌号	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	伸长率(%)	硬度(HBW)	杨氏模量/GPa	$w(\text{Si})$ (%)	$w(\text{Mo})$ (%)
1	450	275	8	187~241	152	3.50~4.50	0.5 max
2	485	380	6	187~241	152	3.50~4.50	0.51~0.70
3	515	415	4	196~269	152	3.50~4.50	0.71~1.00

2 等温淬火球铁

自从上世纪 70 年代初在美国、中国和芬兰等国分别独立、成功地生产出 ADI 零件以来,ADI 在世界各国取得了迅速发展。目前世界各国生产的 ADI 零件质量从 200 g 到几吨,品种有数千种,成功地替代了多种碳钢和低合金钢铸件、锻钢件、表面淬火和氮化处理的钢件、铝合金、铜合金铸件、普通球铁铸件以及焊接件和组装件等,已经广泛应用于工业生产的各个部门。美国是 ADI 产量最大,增产最快的国家,据统计,美国 ADI 产量 2008 年达到 20 万 t^[10];欧洲 2007 年 ADI 产量仅为 25 000 t,仅为其球铁产量的很小一部分,所以被认为有很大发展余地^[11]。

在 ADI 开发初期,各国都根据自己的情况制定了相应的标准。美国 ASTM 自从 1990 年制定第一个 ADI 标准后,经过几次修订,ADI 标准的力学性能逐步提高(如表 1),最新的标准为 ASTM A897(2006)。2005 年国际标准化委员会

公布了最新的等温淬火球铁标准，值得注意的是，该标准的名称就是奥铁体球墨铸铁（Ausferritic ductile iron）国际标准，是按照基体组织命名的。表 7~9 分别列出了美国 ADI 标准 ASTM A897M（2006）Standard Specification for Austempered Ductile Iron Castings^[12]，欧洲标准 European Standard for Austempered Ductile Irons（EN 1564:1997）^[13]和国际标准 ISO 17804:2005 International standard Ausferritic spheroidal graphite cast irons^[14]的最低力学性能要求。值得注意的是，新的国际奥铁体球铁标准对壁厚至 10 mm 的不同断面壁厚给出了所需达到的相应的最低性能指标。从该标准中可以看出，随着壁厚增加，抗拉强度和断后伸长率逐渐降低，但是屈服强度保持不变。这一点不同于普通球铁。普通球铁随着壁厚增加，抗拉强度，屈服强度和断后伸长率都逐渐降低。显然这与其独特的微观组织有关。对于壁厚超过 100 mm 的 ADI 铸件的性能要求和检验标准则由供需双方协议商定。目前重达数吨的厚壁 ADI 铸件已经成功地生产并应用了多年。

另外值得注意的一点是，如果比较 ADI 美

国 ASTM 标准、欧洲标准和国际标准的最低伸长率，会发现美国 ASTM 标准对于同样的强度给出了较高的伸长率。这种差别是因为，在拉伸试验中，美国 ASTM 采用 4 倍于试棒直径 d 的原始标定长度（或称为标距），即 $L_0=4\times d$ ；欧洲标准和国际标准采用 5 倍于试棒直径 d 的原始标定长度，即 $L_0=5\times d$ 。通常，金属材料在拉伸试验中，其伸长是不均匀的，在试样断裂处往往显示出最大的伸长。最明显的例子就是低碳钢试样在拉伸试验中出现的颈缩。因此，对于同一种金属材料，如果采用较短的原始标定长度，就得到较长的断后伸长率；如果采用较长的原始标定长度，就得到较短的断后伸长率。为了表示出这种区别，国际 ADI 标准 ISO 17804 同时也给出了采用 4 倍于试棒直径 d 的标距 $L_0=4\times d$ 所得到的伸长率作为参考（见表 10）。由此也可以知道：在拉伸试验中，如果试样断裂处靠近标距处，结果是不利的；如果试样断裂在标距外，通常伸长率就低，就应该重新实验测定。

与球墨铸铁一样，ADI 除了在传统方向发展

表 7 美国材料学会 ADI 标准 ASTM A897M（2006）
Tab.7 ASTM A897M（2006）Standard Specification for Austempered Ductile Iron Castings

牌号	抗拉强度最 低值/MPa	屈服强度最 低值/MPa	伸长率最 低值(%)	冲击能 /J	典型硬度 (BHN)
1	750	500	11	110	241~302
2	900	650	9	100	269~341
3	1 050	750	7	80	302~375
4	1 200	850	4	60	341~444
5	1 400	1 100	2	35	388~477
6	1 600	1 300	1	20	402~512

注：无缺口冲击试样在(22±4)℃测试，4 个试样最高值的平均值必须达到表中数值。

表 8 欧洲等温淬火球铁标准——分级(EN 1564:1997)
Tab.8 European Standard for Austempered Ductile Irons – classification (EN 1564:1997)

标号	牌号	抗拉强度	屈服强度	伸长率	硬度
		最小值 /MPa	最小值 /MPa	最小值 (%)	范围 (BHN)
EN-GJS-800-8	EN-JS1100	800	500	8	260~320
EN-GJS-1000-5	EN-JS1110	1 000	700	5	300~360
EN-GJS-1200-2	EN-JS1120	1 200	850	2	340~440
EN-GJS-1400-1	EN-JS1130	1 400	1100	1	380~480

注：EN-GJS-800-8S-RT 标准中 EN-JS1109 牌号在(23±5)℃冲击韧度(带缺口)为 10 J(3 次测试平均值)和 9 J(单次测试值)。

表 9 ISO 17804:2005 国际标准——奥铁体球墨铸铁—分级
Tab.9 ISO 17804:2005 International standard– Ausferritic spheroidal graphite cast irons–classification

材料名称	铸件相关 壁厚 t /mm	抗拉强度 最小值/MPa	屈服强度最小 值/MPa	伸长率最小 值(%)
ISO 17804/JS800-10 ISO 17804/JS800-10RT	$t \leq 30$	800	500	10
	$30 < t \leq 60$	750		6
	$60 < t \leq 100$	720		5
ISO 17804/JS900-8	$t \leq 30$	900	600	8
	$30 < t \leq 60$	850		5
	$60 < t \leq 100$	820		4
ISO 17804/JS1050-6	$t \leq 30$	1 050	700	6
	$30 < t \leq 60$	1 000		4
	$60 < t \leq 100$	970		3
ISO 17804/JS1200-3	$t \leq 30$	1 200	850	3
	$30 < t \leq 60$	1 170		2
	$60 < t \leq 100$	1 140		1
ISO 17804/JS1400-1	$t \leq 30$	1 400	1 100	1
	$30 < t \leq 60$	1 170	要经供需双方协商同意	
	$60 < t \leq 100$	1 140		

注：1. 由于铸件形状复杂，壁厚有变化，其性能是不均匀的。2. 通过适当的热处理，此表规定的最低 0.2% 屈服强度可以保持；但是，随着铸件壁厚增大，抗拉强度和伸长率将要降低。3. 如果要规定试样形式，在材料名称后面加“/”，其后用以下字母表示试样形式：S 表示单铸试样，U 表示附铸试样。

表 10 从单铸或附铸试样取样测试的力学性能——抗拉试样原始标距 $L_0=4 \times d$ (ISO 17804:2005)

Tab.10 Mechanical properties measured on test pieces machined from separately cast samples or cast-on samples - Tensile test piece with original gauge length $L_0=4 \times d$ (ISO 17804:2005)

材料名称	铸件相关 壁厚 t/mm	抗拉强度 最小值/MPa	屈服强度 最小值/MPa	伸长率 最小值(%)
ISO 17804/JS/800-10	$t \leq 30$	800	500	11
	$30 < t \leq 60$	750		7
	$60 < t \leq 100$	720		6
ISO 17804/JS/800-10RT	$t \leq 30$	900	600	9
	$30 < t \leq 60$	850		6
	$60 < t \leq 100$	820		5
ISO 17804/JS/900-8	$t \leq 30$	1 050	700	7
	$30 < t \leq 60$	1 000		5
	$60 < t \leq 100$	970		4
ISO 17804/JS/1050-6	$t \leq 30$	1 200	850	4
	$30 < t \leq 60$	1 170		3
	$60 < t \leq 100$	1 140		2
ISO 17804/JS/1200-3	$t \leq 30$	1 400	1 100	1
	$30 < t \leq 60$	1 170	要经供需双方协商同意	
	$60 < t \leq 100$	1 140		

注:1. 由于铸件形状复杂,壁厚有变化,其性能是不均匀的。2. 通过适当的热处理,表中规定的最低 0.2% 屈服强度可以保持;但是,随着铸件壁厚增大,抗拉强度和伸长率将要降低。3. 如果要规定试样形式,在材料名称后面加“/”,其后用以下字母表示试样形式:S 表示单铸试样, U 表示附铸试样。

外,也正在朝大断面 ADI 和薄壁 ADI 发展^[11,15]。此外,由于其独特和优越的性能,正更多地取代装配件。

3 蠕墨铸铁

表 11~13 分别给出了美国 ASTM、国际标准组织 ISO 和美国汽车工程师协会 SAE 蠕墨铸铁标准的力学性能要求^[17-19]。近年来,蠕墨铸铁在发达国家取得了快速进展,其中最主要的驱动力是节能减排的需求。例如,气缸体和气缸盖作为发动机中最重要的部件,其尺寸大、结构复杂、壁厚薄而不匀,而且在高温、高压及润滑条件不良且有固体微粒和腐蚀介质工况条件下作高速相对运动,因此要求气缸体材料具有良好的强度、导热性、耐磨性、耐蚀性、耐热疲劳性和良好的机加工性能。蠕铁的综合性能及先进铸造技术的发展,可使蠕铁缸体单位功率的质量小于铝合金缸体,而耐高温、刚度等性能又远优于铝合金缸体。

各国都认识到蠕铁是能替代现有发动机缸体材料的唯一选择,只有它能适应今后十年低排放法规要求的高气缸压力^[18-22]。因而,蠕墨铸铁气缸体和气缸盖的生产近期有了很大发展,不少国家已经投入大批量生产。据 Dawson 统计,目前全球已经有 22 种不同的采用蠕铁材料的发动机,年产量大约 50 万台^[19]。这个数据大概没有包括中国的产量。他预计 2010 年将有 30 种蠕铁设计的缸体或缸盖,在 200 万个发动机上装机;2012 年蠕铁发动机将会占全球发动机总量的 10%^[19]。

发动机气缸体和气缸盖通常要求较高的蠕墨体积分数($\geq 80\%$),最新的生产技术已经可以稳定达到。当然,并非所有的蠕铁件都经受上述工况,需要上述的性能要求,从而需要高的蠕化率。美国汽车工程师协会 SAE J1887 (2007) 的蠕墨铸铁标准中就有两个标准要求球化率为 20%~50%,特别称其为高球化率的蠕墨铸铁(见表 13)^[23]。高球化率的蠕墨铸铁主要应用于并不要求很好的铸造性能、热疲劳性能和加工性,但要求强度高、气密性好和抗渗漏的零件,如支架、支座和阀体等,取代原来的高强度灰口铸铁^[22-24]。

用镁钛合金处理蠕墨铸铁,由于 Ti 的碳氮

以目前广泛应用的合金以低镁低稀土为多。国外应用的主要处理方法有 SinterCast 法^[17]、喂线法^[20]和型内处理法^[23]。SinterCast 是一种两步法,即测量—校正法。首先对冲入法(或其他方法)处理的蠕铁铁液,用特殊的测量冷却曲线的方法和样杯测定铁液的蠕化率,再根据精确测量的铁液成分和冷却曲线测定的结果,确定需要加入的处理合金或孕育剂的质量,再用喂线法精确加入已经处理过的铁液中以确保蠕化率。通常第一次处理的

表 11 美国材料试验学会蠕墨铸铁铸件标准 ASTM A824-85(2004)

Tab.11 ASTM A824-85(2004) standard specification for compacted graphite iron castings

牌号	抗拉强度 /MPa	屈服强度 /MPa	伸长率 (%)	硬度 (HB)	蠕化率 (%)
250	250	175	3.0	≤ 179	80
300	300	210	1.5	143~207	80
350	350	245	1.0	163~229	80
400	400	280	1.0	197~225	80
450	450	315	1.0	207~269	80

表 12 蠕墨铸铁国际标准 ISO 16112:2006
Tab.12 ISO 16112:2006 International standard
Compacted (vermicular) graphite cast irons

材料名称	抗拉强度	屈服强度	伸长率	硬度范围 (HBW 10/30)	蠕化率 (%)
	最小值 /MPa	最小值 /MPa	最小值 (%)		
ISO 16112/JV/300/S	300	210	2.0	140~210	80
ISO 16112/JV/350/S	350	245	1.5	160~220	80
ISO 16112/JV/400/S	400	280	1.0	180~240	80
ISO 16112/JV/450/S	450	315	1.0	200~250	80
ISO 16112/JV/500/S	500	350	0.5	220~260	80

注:1.无论采用何种方法生产铸件,牌号都以从采用砂型、或冷却速度与生产铸件所用铸型相似的铸型浇注的试样取样测试得到的力学性能为依据。2.硬度值仅供参考。

表 13 美国汽车工程师协会蠕墨铸铁标准 SAE J1887
(2007)

Tab.13 SAE J1887 (2007) Compacted graphite cast iron standard

牌号	抗拉强度 /MPa	屈服强度 /MPa	伸长率 (%)	硬度 (HB)	球化率 (%)
C250	250	175	3.0	121~179	<20
C300HN	300	210	3.0	131~189	20~50
C300	300	210	2.5	143~207	<20
C350	350	245	2.0	163~229	<20
C400	400	280	1.5	197~225	<20
C450	450	315	1.0	207~269	<20
C500HN	500	315	1.5	207~269	20~50

蠕铁以蠕化率合格或稍微不足为好,如果是过处理了,补加铁液显然是一件不容易精确做到的事。所以,最重要的是第一次处理成功。该方法适用于大批量生产,其应用正在增加。喂线法和型内处理法同样被认为是可靠的、能精确控制和方便生产的方法^[20,21,24]。

4 优化铸铁材料并合理地应用

虽然材料的技术标准规定了其最低力学性能和金相组织等指标,但这只是一个通用的技术要求。对于一个特定的铸件,可能标准中的任何一个牌号对于其应用来说并非最佳选择;此外,并非所有的铸件在使用中要求所有的截面都具有一样的组织和性能。实际上,由于断面尺寸不同,组织和性能也不可能完全相同。例如,根据使用条件,有的 ADI 铸件对特定部位就不要求全部淬透,只淬透到一定尺寸就能满足使用需求

了,这样,检验中就要求检验完全获得奥铁体组织的深度;相反,有的则不仅要求完全淬透,还要求更高的伸长率,要求低温冲击韧度,这就要增加检验项目。蠕墨铸铁件有的要求高的蠕化率,有的则不必,也并非各个断面都要求达到 80% 的蠕化率。正确设计铸件的组织和性能要求,需要不仅了解材料的性能,也需要对铸件的工作情况有足够深入的了解。

设计对于零件的使用功能有很重要的作用。有时,发生断裂失效的零件,稍稍改进设计就完全解决了问题;有时,不用更改设计和生产工艺,改用 ADI 就解决了断裂问题;有的改用蠕铁,提高了零件的强度、刚度和韧性,提高了型板收得率,取消了原先 HT300 必需的磁粉探伤工序^[24]。事实上,改用新材料有时候不仅解决的是断裂失效问题,还有可能提高整机的效率或输出功率。这就要求铸造厂家、零件设计部门和用户之间紧密合作,对材料性能和零件的受力状况、使用条件等有深入的了解和正确的认识,从而以铸件使用条件、材料性能为依据设计出最佳的铸件。只有这样,才能制造出生产成本低、材料应用率高、功能优越的铸件。这已经成为铸铁和其他任何材料发展的方向。

5 结束语

任何一种材料在开发和投入生产时,在生产厂家和用户之间都需要有一个试用的技术标准作为供需双方检验材料性能的依据。这个试用标准逐渐发展为企业正式标准,再逐步发展为国家标准;在为其它国家确认后,最后发展为国际标准。据了解,除了 ISO 1083/JS/500-10 牌号外,瑞典正在工作,将他们发展的球铁 450-18,500-14,600-10 列入国际标准。

中国在铸铁的生产和开发方面做了大量工作。实际上,中国有许多企业生产的铸件性能优于国际标准;中国 2007 年已经生产了世界 1/3 的铸件,这个数字 2010 年将达到 36%^[28]。现在,中国已经真正成了世界铸造大国,但中国在金属铸件的技术标准制定方面还远远落后于发达国家。技术标准的制定需要做大量的调查研究工作,甚至还需要做进一步的试验工作;技术标准制订的水平,跟随世界生产发展的速度和为世界

其它国家采用的广泛程度,反映了一个国家制造业的水平。过去,中国的铸造厂多从属于主机厂,铸造技术人员与产品设计人员及用户之间紧密合作的传统和基础很好;相信在未来,中国一定会制造出生产成本低、材料应用率高、功能优越的铸件,并且在世界铸铁标准的制定上也一定会做出贡献的。

参 考 文 献

[1]ASTM A536-84 (2004) Standard specification for ductile iron

[17]ISO 16112:2006 International compacted (vermicular) graphite cast irons - classification.

[18]Steve Dawson, Process control for the production of compacted graphite iron, the 106th AFS casting congress Kansas City 4-7 May 2002.

[19]Steve Dawson, Compacted graphite iron- A material selection for modern diesel engine cylinder blocks and heads, 2008 Keith Millis Symposium on Ductile Iron, American, Las Vegas 2008.

[20]M. J. Fallon, Experiments on the treatment of compacted graphite cast iron, Foundry Trade Journal p34 -38 January/February 2004.