灰口铸铁的材质评价方法

雷富军[1]，王上均[2]，堀江皓[3]，戴萍[4]，马晓丽[1]

（1 青海大学机械系；2 河南省铸造学会；3 日本岩手大学工学部附属铸造技术研究中心；

4 河南宏宇特铸股份有限公司）

摘要：本文针对中国某企业生产的灰口铸铁进行了机械性能评价，提出了综合评价灰口铸铁材质的方法：抗拉强度评价法、化学成分评价法和比较硬度评价法。

关键词：灰口铸铁；成熟度；比较硬度；材质；评价

1 前言

铸铁指铁-碳复相相图中含碳量大于奥氏体中最大固溶度 2.11%的铁碳合金，铸铁的成分中除了碳元素外，还有像促进石墨化的硅等合金元素以及锰、磷、硫等杂质元素，实质是复杂多元合金。铸铁中的碳在凝固过程中以石墨形式结晶是非常重要的。石墨化程度与成分、铸件冷却速度等因素有关，孕育处理对此作用较显著。 铸铁中石墨一般占 10%左右,石墨本身的抗拉强度只有 20Mpa，远低于基体强度，可视为基体中的微小空洞。因而石墨形态支配铸铁的强度。铸铁中石墨呈片状、蠕虫状、球状其对基体的割裂作用依次减少，强度依次增高。灰口铸铁因拉伸断口的颜色呈灰色而得名,其金属组织特征是石墨呈片状形式。一般石墨形态以 A 型石墨的机械性能为好。灰口铸铁因其石墨形态的特质而具有良好减震性、切削性等特性，再加上有良好铸造成型工艺性能，被用作机床床身、汽车发动机缸体等结构材料。然而一般灰口铸铁生产企业对其灰口铸铁材质的评价多停留于炉前断口观察和试棒的拉伸强度。所以，建立更加科学的灰口铸铁材质评价方法是重要的。

2 灰口铸铁常用的材质评价方法

目前，在我国的一些企业灰口铸铁材质评价及质量控制方法，主要有炉前断口试样观察，C、Si、Mn、P、S 五大元素检测与控制，抗拉强度、布氏硬度等机械性能指标用拉伸试棒试验确定。而在国外，评价灰口铸铁品质时广泛运用成熟度概念，成熟度概念是由 W.Patterson 提出的。首先根据 H.Jungbluth 等提出的理论抗拉强度 δn=102-82.5Sc 或 δn（MPa）=1000-809Sc。式中 Sc 为共晶度，最初共晶度 Sc[1]=C%/[4.23-（Si/3.2）]求得，后来共晶度 Sc[2]=C%/[4.23-1/3（Si%+P%）]来求得。再求实际抗拉强度(δt)与理论抗拉强度的比值，即 RG(%)=δt/δn×100。一般 RG 在 100 以上时为良好材质，反之 100 以下时为劣于理论强度。同时，将实际布氏硬度 HB 与理论布氏硬度 HBn 的比值。即 RH=HB/HBn，式中 HBn=100+0.44δt（MPa），RH 即为比较硬度，而我国将 RH 称为相对硬度[3]。

3 灰口铸铁材质综合评价

3.1 抗拉强度评价法（成熟度 RG）

共晶度（Sc）＝C%／4.3－（1 / 3 Si%＋ 1 / 3 P%）

理论抗拉强度（kg/mm^2） T t ＝ 1 0 2 －82.5×共晶度（ Sc ）

理论抗拉强度（MPa）Ｔｔ＝1000-809×共晶度（ Sc ）

实际抗拉强度（ kg/mm^2） T_p

成熟度　ＲＧ＝（T_p / Ｔｔ）×100

ＲＧ　＞　１００　时材质良好。

硬度的评价方法（比较硬度　ＲＨ）

理论硬度　HB_n＝100 ＋4.3×T_p（Kg/mm^2）

HB_n＝100 ＋0.44×T_p（MPa）

实际硬度　ＨＢ

比较硬度　ＲＨ＝ＨＢ／　HB_n

ＲＨ　＜　１　时材质良好。

3.2 化学成分评价方法

①ΣA1＝P＋Cr＋Ti＋Pb＋Sn＋Bi＋Sb＋Mo

ΣA1 表示原料中含有的微量元素的总含量。

在球铁中此值异常过高时会导致球化不良。

②ΣA2＝ΣA1＋Cu

ΣA2 值增加时球铁中的珠光体量增加。

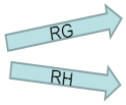
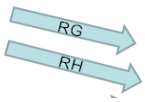
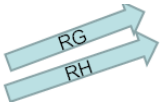
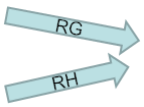
③ΣI＝Al＋Ca

在使用含有 Al、Ca 孕育剂时，该值将增加，它是孕育效果的衡量值。

3.3 运用成熟度与比较硬度综合评价灰口铸铁材质

堀江皓综合长期研究结果，提出了用比较硬度和成熟度综合评定灰口铸铁材质的方法，具体思路如表 1 所示。

表 1 成熟度与比较硬度综合判定灰口铸铁材质情况表

序号	RG 与 RH 的变化趋势	材质状况
1		材质良好
2		软材质（D 型石墨，铁素体）
3		硬材质（珠光体促进元素 Cr，V，Mn 含量高）
4		劣质材质（有白口生成）

4 灰口铸铁材质评价事例

4.1 HT250 材质评价

4.1.1 机械性能

某试样抗拉强度 δ=292.3N/mm^2,，布氏硬度 HB=190，由共晶度求得的理论强度为 259.3N/mm^2，由此求得的成熟度 RG=112.7%，实际强度比理论强度约提高了 12.7%。

根据抗拉强度求得理论布氏硬度 HBn=229，此值与实际布氏硬度的比值即比较硬度 RH=0.83，实际硬度比理论硬度低了 17%，从而判定该材料性能良好。

将共晶度 Sc 与抗拉强度的关系（RG），抗拉强度与布氏硬度的关系（RH）和日本的一些企业的数据对比结果如图 1 所示。

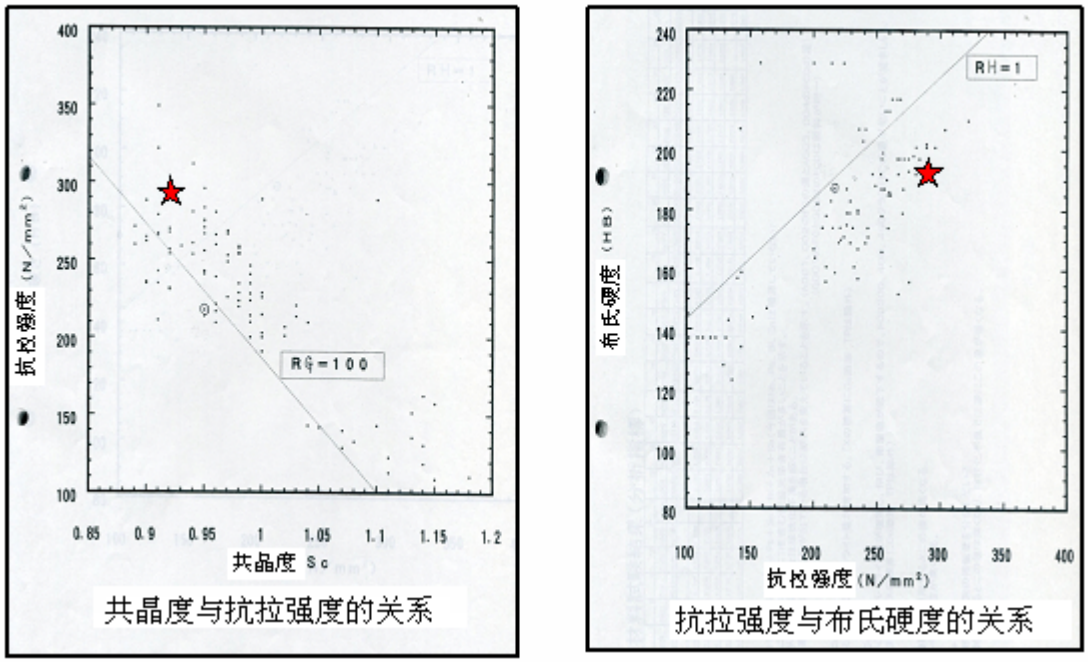


图 1 共晶度、抗拉强度及布氏硬度的关系

从以上结果可以看出 HT250 的机械性能 RG 超过 100%，比较硬度 RH 小于 1；抗拉强度和布氏硬度都没有问题。

4.1.2 金相组织

石墨为 A 型石墨，基体组织为珠光体，金相组织良好。

4.1.3 化学成分分析

表 2 化学成分分析表（ω%）

C	Si	Mn	P	S	Sn	Cu	Cr	Mo	ΣA1	ΣA2	Al	Ca
3.357	1.754	1.033	0.05	0.038	0.007	0.04	0.184	0.016	0.294	0.334	0.0098	0.003

从上表分析得知：∑A1=0.294,比一般的灰口铸铁的化学分析值要高。其原因为 Cr0.184%添加，而且此试样的抗拉强度偏高，与 Cr 与 Mn 量偏高有关。

4.1.4 综合评价

该试样机械性能满足相关工业标准，且成熟度 RG=112.7%，RG>100%；比较硬度 RH=0.83，RH<1，综合判定为良好。金相组织为 A 型石墨加珠光体基体，显微组织无问题。

4.2 HT300 材质评价

4.2.1 机械性能

某试样抗拉强度 δ=307N/mm^2，布氏硬度 HB=228，根据共晶度求得的理论强度为 321.6N/mm^2，由此求得的成熟度 RG=95.5%，实际强度比理论强度约下降 4.5%。根据抗拉强度求得理论布氏硬度 HBn=245，使值与实际布氏硬度的比值即比较硬度 RH=0.97，实际硬度比理论硬度低了 0.03%。将共晶度 Sc 与抗拉强度的关系（RG），抗拉强度与布氏硬度的关系（RH）和日本的一些企业的数据对比结果如图 2 所示。

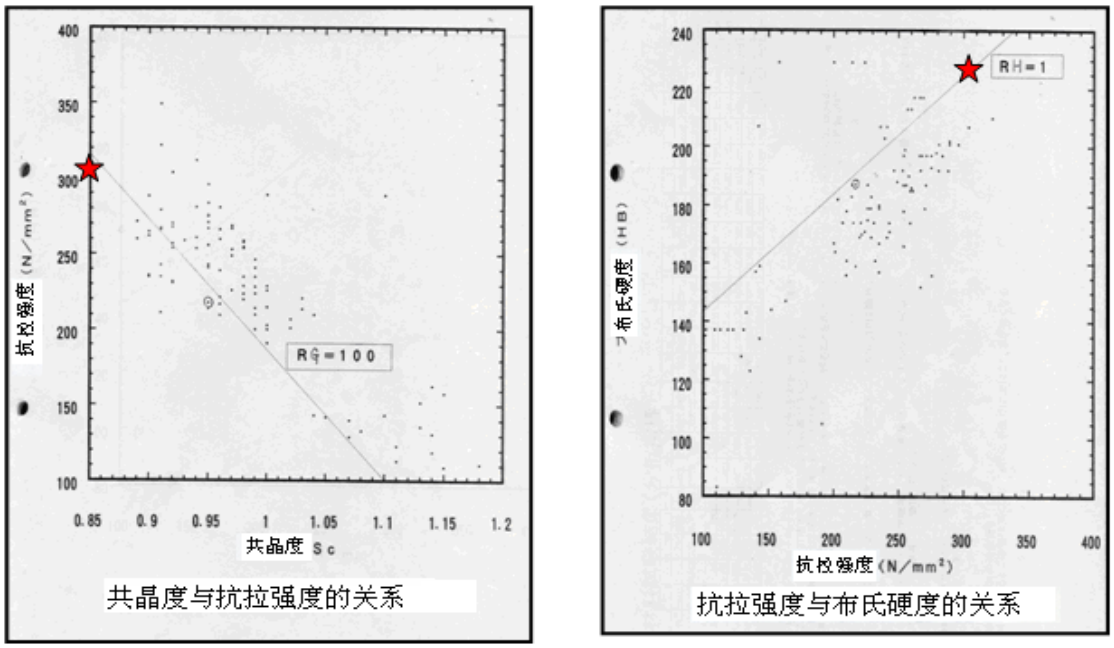


图 2 共晶度、抗拉强度及布氏硬度的关系

从上表中可以看出 HT300 的机械性能比 RG 标准值 100%低，实际抗拉强度低于理论值。RH 接近标准值 1。

4.2.2 金相组织

A 型石墨中有部分 D 型石墨且有残余奥氏体存在，基体组织为珠光体，但有白色碳化物析出。

4.2.3 化学成分分析

表 3 化学成分分析表（ω%）

C	Si	Mn	P	S	Sn	Cu	Cr	Mo	∑A1	∑A2	Al	Ca
3.148	1.446	1.294	0.076	0.047	0.006	0.0434	0.294	0.111	0.548	0.982	0.0066	0.0018

从上表分析得知：ΣA1=0.548,比一般的灰口铸铁的化学分析值要高得多。其原因为 Cr0.294%及 Mo0.111%添加。ΣA2=0.982 也比一般灰口铸铁的值要高，这与 Cu0.434%添加有关。

4.2.4 综合评价

该试样机械性能满足相关工业标准，但成熟度 RG=95.5%，RG<100%；原因是 D 型石墨析出，孕育不良。这一点也可以用表征孕育效果的Σ Ⅰ值只有 0.008 来说明。比较硬度 RH=0.97，RH<1，比 HT250 的试样要硬。硬度大与 Cr 和 Mo 的添加有关。

5 结束语

（1）在抗拉强度、硬度等机械性能指标基础上提出了成熟度、比较硬度及成分分析法等综合评定灰口铸铁材质的方法。

（2）针对不同牌号的灰口铸铁举例说明了综合评价法的具体应用。

参考文献：

[1] 日本铸造工学会.铸造工学便览[M].东京:丸善株式会社,2002:256-257.

[2] 井川克也,田中雄一,新山英辅,等.材料过程工学[M].东京:朝仓书店,1993:77.

[3] 张伯明,陆文华,吴德海,等.铸造手册[M].北京:机械工业出版社,2003:239.