

钢铁材料抗拉强度与硬度关系综述

沈保罗 李莉 岳昌林

(成都金顶凸轮轴铸造有限公司 四川 郫县 611732)

摘要 讨论了钢铁材料的抗拉强度和硬度之间的关系。研究表明 钢铁材料的抗拉强度和硬度之间基本呈正相关关系,也存在线性关系。受化学成分和制造工艺(铸造、锻造、轧制、热处理)不同的影响,钢铁材料抗拉强度和硬度之间的换算关系存在着较大的分散性,但是在一定的生产条件下,用硬度来监控产品质量是一种很好的选择。

关键词 钢铁材料 抗拉强度 硬度

中图分类号: TG2 文献标识码: A 文章编号: 1003-8345(2012)01-0093-04

DOI: 10.3969/j.issn.1003-8345.2012.01.018

Summarization of Relationship between Tensile Strength and Hardness of Iron-Steel Materials

SHEN Bao-luo, LI Li, YUE Chang-lin

(Chengdu Jinding Camshaft Casting Co. Ltd., Pixian 611732, China)

Abstract: The relationship between tensile strength values and hardness values of iron-steel materials was summarized. Statistics showed that the tensile strength values of most iron-steel materials were directly and linearly related to their hardness values. However, due to the influences of chemical composition and manufacturing process (e.g. casting, forging, rolling, heat treating, etc) there was quite big dispersion existing in the conversion relationship between tensile strength values and hardness values of iron-steel materials. Therefore, the possibility of using the hardness test to control castings quality would depend on the stability of the production conditions.

Key words: iron and steel; tensile strength; hardness

硬度和抗拉强度是机械零部件产品检验中最常用的两个力学性能指标。强度性能在很大程度上决定着材料的使用价值,抗拉强度则往往在机械零件设计中作为评估其承载能力的主要参数。由于硬度检测方法简便、迅速又不破坏零件,在有些情况下可以通过测定硬度并利用硬度—强度间的换算关系来检查和判断零件的强度性能,所以找出硬度和抗拉强度之间确定的关系具有很重要的现实意义,也是人们很久以来都在努力追求的目标。

屠世润等人依据材料力学性能的基本原理阐明^[1] 抗拉强度是通过单向拉伸试验求出的材料强度性能指标,常用的维氏硬度、布氏硬度和洛氏硬度试验都是压入式硬度试验。硬度和抗拉

强度都是材料在外力作用下抵抗变形和破坏能力的反映。硬度试验与拉伸试验的不同在于应力状态,即应力状态“软性系数” a 值不同。 $a = t/s$,其中 t 为最大切应力、 s 为最大正应力。单向拉伸试验的 a 值等于0.5,试验时材料先产生弹性变形,到屈服后(即应力超过屈服点)产生塑性变形,最后在正应力超过断裂强度时发生正断式延性断裂;而在压入式硬度试验时 $a > 2$,属于极软性的应力状态。试验时也是材料先发生弹性变形,屈服后发生塑性变形,若适当控制压入负荷,材料只会发生弹性变形和比单向拉伸大得多的塑性变形而不发生切断。正是由于压入式硬度试验与单向拉伸之间存在着上述类似点,因此硬度值与强度值之间也存在着一定的关系。但是这两种试验毕竟还是不同类型的试验,且应力状态的软性系数也不同,所以它们之间的关系也不会是一种简单的线性关系,而且它们受材料的各种因素的影响也会不一样。

收稿日期 2011-06-01 修定日期 2011-09-26

作者简介 沈保罗(1945.4-),男,毕业于清华大学机械系金属材料专业,四川大学教授,博士生导师,近年来一直从事凸轮轴铸件的生产与新产品开发,在国内外学术期刊发表论文300余篇。

了解钢铁材料抗拉强度与硬度之间的关系及其影响因素,不但对材料的生产厂家,而且对于用户都是非常重要的。

1 钢的抗拉强度与硬度的关系

国际标准 ISO 18265:2003 以及国家标准 GB/T1172-1999 都列表标明了各种钢的抗拉强度与硬度值,从公布的换算表可以清楚地看到,钢的抗拉强度与其硬度呈正相关关系。如果知道了某种钢材的硬度值,就很容易换算出相应的抗拉强度。但是由于钢材化学成分的差异,制造工艺的不同,换算出的抗拉强度相差较大。比如 #45 钢,当用淬火后高温回火(调质)和正火处理两种工艺获得相同的硬度值 200 HB 时,调质态的抗拉强度为 620 MPa,而正火态的只有 540 MPa^[1]。ISO/TR 10108:1989《钢——硬度和抗拉强度换算》是一个硬度和抗拉强度换算的技术报告,是为布氏硬度和维氏硬度建立的硬度—抗拉强度换算及其应用规则。材料是超碳钢、软钢、结构钢、高强度钢、超高强度钢、合金钢和不锈钢,换算关系在 95%置信度极限下抗拉强度分散带的宽度在 200 MPa 以上^[2]。因而,建立在生产条件下各种钢材的抗拉强度与硬度的关系就显得重要了。

为了便于用硬度监控铸造碳钢的质量,杨玉民等人^[3]发现铸造碳钢的抗拉强度与硬度(HBS)呈线性关系(图 1),通过线性回归获得了公式:

$$R_m = 3.31HBS + 35.03 \quad (1)$$

公式(1)解决了由于试样存在缺陷而测不出抗拉强度,造成铸件不能及时转序,从而影响生

产效率的难题。江勤峰等人^[4]通过大量试验建立了昆钢冷轧薄板 St13 抗拉强度与洛氏硬度关系,可用于不同板厚钢板的强度估算。他们获得的关系式为:

$$R_m = 2.552 \text{ 6HRF} + 118.63 \quad (2)$$

$$(0.7 \text{ mm} \leq \text{板厚} \leq 1.1 \text{ mm})$$

$$R_m = 2.136 \text{ 1HRB} + 215.03 \quad (3)$$

$$(1.1 \text{ mm} < \text{板厚} \leq 2.0 \text{ mm})$$

42CrMo 钢强度高,淬透性好,广泛用于齿轮、螺杆、曲轴及大截面轴类零件的制造,特别是在高强度紧固件的制造中更是具有重要地位。余兆新和谢灵扬^[5]建立了适用于热轧、退火以及调质状态 42CrMo 钢的抗拉强度与布氏硬度关系式:

$$R_m = 49.1 + 3.174HB + R \quad (4)$$

$$(HB < 200 \text{ } R = -16 \text{ } HB = 200 \sim 250 \text{ } R = -100; \\ HB > 250 \text{ } R = +16)^{[3]}$$

奥氏体不锈钢的里氏硬度(HL)与屈服强度($R_{p0.2}$)和抗拉强度(R_m)之间符合线性关系,其回归关系式为^[6]:

$$R_{p0.2} = 3.38HL - 941.16 \text{ 相关系数 } R = 0.981 \quad (5)$$

$$R_m = 2.06HL + 116.01 \text{ 相关系数 } R = 0.938 \quad (6)$$

奥氏体不锈钢的维氏硬度(HV)与屈服强度($R_{p0.2}$)和抗拉强度(R_m)之间符合线性关系,其回归关系式为^[6]:

$$R_{p0.2} = 3.40HV - 212.90 \text{ 相关系数 } R = 0.988 \quad (7)$$

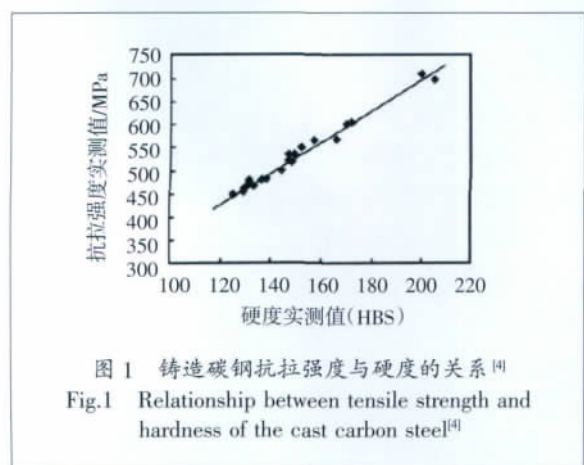
$$R_m = 2.10HV + 252.46 \text{ 相关系数 } R = 0.956 \quad (8)$$

2 铸铁抗拉强度与硬度的关系

2.1 灰铸铁抗拉强度与硬度的关系

灰铸铁是由片状石墨、珠光体、铁素体、碳化物、磷共晶、硫化物以及夹杂物组成的多相复合材料,由于各组分的相对含量、大小、形态以及分布不同,对铸铁的抗拉强度会产生举足轻重的影响。此外,灰铸铁的抗拉强度还受合金元素加入种类和加入量、熔炼方式(冲天炉或是电炉)、原材料的遗传性、孕育剂种类、孕育量、孕育方式(一般孕育或随流孕育)以及微量元素的影响,其与硬度的关系比钢更复杂。

上世纪五六十年代,铸造学者对灰铸铁的共晶度(S_c)、抗拉强度(R_m)及硬度(HB)之间的关系做了大量的统计和计算,总结成下列计算公式^[7]:



$$R_m=1\ 000-800Sc \quad (9)$$

$$HB=530-344Sc \quad (10)$$

由公式(9)和(10)可以得到:

$$R_m=2.3HB-232.6 \quad (11)$$

公式(11)也表示抗拉强度(R_m)与硬度(HB)呈线性相关。

表示抗拉强度(R_m)与硬度(HB)线性相关的公式还有:

$$R_m(\text{kgf})=(HB-82)/6^{[8]} \quad (12)$$

$$R_m(\text{kgf})=(HB-40)/6^{[8]} \quad (13)$$

$$R_m \geq 196 \text{ MPa 时, } HB=RH(100+0.438R_m)^{[9-11]} \quad (14)$$

$$R_m < 196 \text{ MPa 时, } HB=RH(44+0.724R_m)^{[9-11]} \quad (15)$$

注 式中 RH 表示相对硬度,一般为 0.8~1.2。

$$R_m=0.97HBS+42.85^{[12]} \quad (16)$$

(适于中频炉冶炼)

$$R_m=2.11HB-167^{[13]} \quad (17)$$

$$R_m=2.05HB-149.3^{[13]} \quad (18)$$

$$R_m=2.5HB-175(\text{误差} \pm 60 \text{ MPa})^{[14]} \quad (19)$$

公式(11)~(19)的共同特点是建立了抗拉强度(R_m)与硬度(HB)的线性关系。还有人将抗拉强度与硬度、化学成分、CE 联系起来建立了如下公式:

$$R_m=258.3+1.27HB-67.3 \times w(C)-25 \times w(Si)-31 \times w(P)^{[15]} \quad (20)$$

$$R_m=263.4+1.3HB-65 \times w(C)-25.5 \times w(Si)-32 \times w(P)^{[13]} \quad (21)$$

需要注意的是,公式(21)适用于抗拉强度在 150~250 MPa 之间的灰铸铁。

$$R_m=3.31HB-0.52HB \times CE+2.5^{[13]} \quad (22)$$

$$R_m=3.08HBR-0.24HBR \times CE-6.28^{[13]} \quad (23)$$

近年来,一些国家用抗拉强度和布氏硬度之比 $m=R_m/HBS$ 来表达灰铸铁的切削性能指标,这一方式更为直接。 m 值大,表示在强度高时,硬度低,切削性能好。这些国家用 m 值作为内控标准,根据不同牌号将 m 值控制在 1.0~1.4。

灰铸铁之所以除了强度以外对硬度的要求越来越严格,是因为随着加工机床的数控化、精密化、切削高速化,铸件硬度对机床的切削速度和刀具磨损影响变得更加突出。因此,在灰铸铁的内在质量中,力学性能仍以抗拉强度为指标,

铸造性能以共晶度为指标,加工性能以 HB 为指标,用成熟度、硬化度、品质系数来表示灰铸铁的内在质量的优良程度。

2.2 球铁抗拉强度与硬度的关系

球铁是由球状石墨、珠光体、铁素体、碳化物(一般含量极少)组成的多相复合材料,由于各组分的相对含量、大小、形态以及分布不同,对球铁的抗拉强度也会产生重要的影响。特别是球铁还可以通过热处理(正火、等温淬火、淬火+回火等)进行强韧化,因而球铁抗拉强度与硬度的关系较复杂。

管野利猛^[14]通过统计研究获得了球铁抗拉强度与布氏硬度(100~300 HB)的线性关系:

$$R_m=3.5HB-70(\text{误差} \pm 60 \text{ MPa}) \quad (24)$$

汽车工业在我国的迅猛发展带动了铸造业的飞速向前。现在,用球铁制造汽车发动机曲轴成了曲轴制造的主流。杨胜斌等^[16]研究了球墨铸铁曲轴硬度与抗拉强度的关系,并得到如下的回归方程:

$$R_m=3.249HB+20.571 \quad (25)$$

(相关系数 $R=0.6521$)

3 结束语

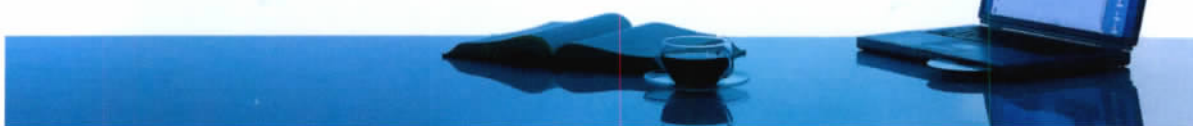
由上述讨论可以清楚地看出,钢铁材料抗拉强度和硬度之间呈正相关关系,在许多时候存在线性关系。受化学成分和制造工艺(铸造、锻造、轧制、热处理)的影响,钢铁材料抗拉强度和硬度之间的换算关系存在着较大的分散性。但是,在生产条件固定的情况下,建立钢铁材料抗拉强度与硬度之间的关系并用硬度来监控产品的生产过程是一种简单而便捷的选择。

参 考 文 献

- [1]屠世润,赵志鹏,吴明,等.硬度与抗拉强度的关系浅析[J].机械工业标准化与质量,2009(10):31-34.
- [2]GB/T1172-1999,黑色金属硬度与强度换算值[S].
- [3]杨玉民,王忠,秦怀,等.碳钢铸件强度与硬度的关系[J].铸造,2009,58(3):287-289.
- [4]江勤峰,朱永华,陈莉,等.昆钢冷轧薄板 St13 抗拉强度与洛氏硬度关系探讨[J].物理测试,2009,27(5):1-4.
- [5]余兆新,谢灵扬.42CrMo 钢硬度与强度关系研究[J].装备制造,2009(4):140.
- [6]陈冰川,李光福,杨武.奥氏体不锈钢里氏硬度维氏硬度及强

一个行业的伟大不仅仅在于它的物质财富,更在于它的精神遗产。曾经的失误、面对的压力、选择中的失落……我们需要不断地重新发现自己,体悟自己,进而在更高层面上超越自己。开办这个栏目的初衷就在于拾起散落在流金岁月中的那些人,那些事,那些点点滴滴弥足珍贵的思潮浪花……同时,也可让我们随同讲述者一起去感受现实的激荡,开启对无限未来的期盼与展望。

本栏目将不定期刊出,欢迎投稿和关注。收稿信箱:xiaao.h@hotmail.com。



当前条件下球铁生产应降低稀土用量

袁亚娟

(无锡一汽铸造有限公司,江苏 无锡 214024)

中图分类号:T-01 文献标识码:C 文章编号:1003-8345(2012)01-0096-02

DOI:10.3969/j.issn.1003-8345.2012.01.019

稀土是17种元素的统称,由于它是很多高精尖产业所必不可少的原料,也是许多国家仰仗我国开采出口的高级原料,因而成为我国最重要的战略资源。

资源既是一个国家的宝贵财富,也是发展中国家维护自身权益,对抗大国强权的重要武器。然而,多年来我们却无视这一资源的宝贵性,无序开采并以“白菜价”为全球

提供了97%以上的稀土产量。据美国地质局统计,近15年来我国稀土资源已从占全球43%下降到31%。为此,自2007年以来,我国政府采取了一系列保护稀土资源的政策措施,一方面减少对外的供应,一方面加强本国的管理,同时加大科技开发的力度和减少稀土资源的浪费。

由于在以镁为主的球化剂中加入少量稀土元素可以有效抑制干扰

元素的影响、增加球铁中的石墨球数量、减轻球铁的夹渣、缩松和白口倾向,所以当今世界各国普遍以稀土与镁组成复合球化剂来进行球墨铸铁的生产。然而,与发达国家相比,国内球化剂以及球铁铸件中的稀土含量明显偏高,不但浪费资源,而且过高的稀土含量对铸件的质量反而造成不良影响,如使球化率和球墨圆整度降低、白口倾向增大、力

- 度之间的换算关系[J].机械工程材料,2009,33(9):37-40.
- [7]马敬仲.灰铸铁质量概念及国内外差距[J].现代铸铁,2009,(1):15-19.
- [8]冯正清.关于灰铸铁硬度和强度之间的关系的讨论及应用[J].铸造,1985,(6):34-35.
- [9]史鉴开,吴晓三.铸件检验中灰铸铁牌号和硬度牌号矛盾浅析[J].企业标准化,1994,(6):30-32.
- [10]邹崇新,韩艳红.灰铸铁的硬度与抗拉强度之间的关系[J].铸造技术,1995,(1):36-37.
- [11]史鉴开,吴晓三.正确选择灰铸铁牌号和硬度牌号[J].现代机械,1995,(3):46-47.
- [12]杨贵成,杨凤民.中频感应电炉熔炼灰铸铁抗拉强度与硬度的关系[J].现代铸铁,2002,(2):53-55.

- [13]沈保罗.用灰铸铁的硬度和化学成分估计其抗拉强度[J].机械制造,1996,(3):32.
- [14]管野利猛.铸铁硬度与各种机械性能的关系[J].国外机车车辆工艺,2009,(1):30-36.
- [15]中国机械工程学会铸造分会.铸造手册·铸铁(第二版)[M].北京机械工业出版社,2002:209.
- [16]杨胜斌,邱晓竹,温力,等.关于球墨铸铁曲轴硬度与抗拉强度关系的研究[J].拖拉机与农用运输车,2006,36(6):88-89.

MCI

(编辑:王峰,E-mail:xdzt_wf@fawfc.com;
编审:周亘,E-mail:zhougen_embx@163.com)