

铬系耐磨白口铸铁

苏俊义 编著

周庆德 校

国防工业出版社

内 容 简 介

本书详述了几种常用的铬系耐磨白口铸铁,重点是高铬白口铸铁。所阐述的主要问题是:碳化物的形式及形貌,基体组织的控制,碳化物及基体对机械性能和不同磨料磨损工况下的耐磨性的影响等。本书反映了近年来国内外在铬系耐磨白口铸铁方面的研究成果,尤其详细地介绍了西安交通大学耐磨材料研究室近十多年来的研究工作,并收集了对生产实践有用的资料。可作为有关工程技术人员及高等学校教师 and 学生的参考书。

铬系耐磨白口铸铁

苏俊义 编著

周庆德 校

责任编辑 周润芬

*

国防工业出版社 出版 发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码:100044)

新华书店经售

新时代出版社印刷厂印装

*

850×1168 1/32 印张 6.5625 170 千字

1990 年 11 月第一版 1990 年 11 月第一次印刷 印数: 0,001—2,000 册

ISBN 7-118-00661-0/TG54

定价: 4.75 元

前 言

本书由作者代表西安交通大学耐磨材料研究室撰写。书中重点阐述了铬系耐磨白口铸铁的几个主要问题,即:碳化物的形式及形貌,基体组织的控制,碳化物及其基体对机械性能和不同磨料磨损工况下的耐磨性的贡献等,并详述了几种常用的铬系耐磨白口铸铁,但重点是高铬白口铸铁。

本书反映了近年来国内外在铬系耐磨白口铸铁方面的研究成果,尤其是详细地介绍了西安交通大学耐磨材料研究室近十多年来的研究工作,亦收集了对生产实践有用的资料,以期在理论及实用两方面都能对读者有所帮助。本书力求简明扼要,思路清晰。本书可作为有关工程技术人员及高等学校的教师和学生的参考书。

本书由周庆德教授审校并作了修改,饶启昌副教授提供了许多宝贵意见,贺林同志为本书制作了图表及照片。在此一并表示感谢。

书中难免有不妥之处,敬希读者批评指正。

作 者

目 录

第一章 引言	1
§ 1 磨料磨损的损坏机理及对抗磨料磨损材料的要求	1
§ 2 普通白口铸铁概述	8
§ 3 抗磨料磨损铬系白口铸铁的沿革.....	13
§ 4 其它耐磨白口铸铁的概述.....	14
1. 钨系耐磨白口铸铁	14
2. 锰系耐磨白口铸铁	15
3. 硼系耐磨白口铸铁	17
第二章 白口铸铁的液-固转变	20
§ 1 普通白口铸铁中初生渗碳体的形成及形貌.....	20
§ 2 普通白口铸铁的共晶组织.....	24
1. 莱氏体共晶	25
2. 板形共晶	30
§ 3 Fe-Cr-C 准稳定态相图及各种形式碳化物的晶体 结构	31
§ 4 高铬铸铁中的初生碳化物.....	43
§ 5 高铬铸铁的共晶组织.....	43
第三章 白口铸铁固态相变的特点	53
§ 1 二次碳化物的析出与溶入.....	53
1. 在热处理时的加热过程中二次碳化物的析出和溶入	53
2. 在热处理时的保温过程中二次碳化物的析出和溶入	57
3. 在热处理时的冷却过程中二次碳化物的析出	57
§ 2 连续冷却转变图和淬透性图.....	59
§ 3 淬火热处理.....	68
§ 4 退火.....	72
§ 5 回火及亚临界热处理.....	73
第四章 低铬及中铬马氏体白口铸铁	78

§ 1 镍硬白口铸铁	78
1. 镍硬 I 型白口铸铁	78
2. 镍硬 IV 型白口铸铁	87
§ 2 镍硬白口铸铁的代用	88
第五章 高铬白口铸铁	100
§ 1 概述	100
§ 2 高铬铸铁的常用化学成分及牌号	110
1. 碳和铬	110
2. 其它合金元素	112
3. 常用化学成分及牌号	114
§ 3 高铬白口铸铁的熔炼、铸造和热处理	118
1. 熔炼和铸造	118
2. 热处理	122
§ 4 高铬白口铸铁的机械性能	124
1. 强度与硬度	124
2. 韧性	128
3. 冲击疲劳	134
§ 5 高铬白口铸铁的耐磨性能	136
1. 抵抗两体磨损的性能	136
2. 抵抗三体磨损的性能	140
3. 抵抗橡胶轮磨损的性能	149
4. 抵抗冲蚀磨损的性能	156
5. 抵抗腐蚀磨损的性能	160
§ 6 高铬铸铁的合金化	168
1. 含钒铸态马氏体高铬铸铁	168
2. 含硼高铬铸铁	170
3. 加锰高铬铸铁	180
§ 7 高铬铸铁的定向凝固	183
1. 定向凝固对高铬铸铁组织和机械性能的影响	183
2. 定向凝固对高铬铸铁耐磨性的影响	186

第六章 铬系白口铸铁件的铸造工艺	197
1. Z1600/1380 平盘中速磨煤机的辊套.....	197
2. EM70 磨煤机的磨环	199
3. 采煤机的滑动密封圈	200
4. 反击式破碎机的板锤	202

第一章 引言

§ 1 磨料磨损的损坏机理及对抗磨料磨损材料的要求

磨损现象繁纷复杂,但都有一个“磨屑”脱离本体的过程。从磨屑形成过程的观点来看,大体上有四种不同的磨损类型:

1) 粘着磨损

两个光滑的金属表面在压力下作相对滑行时,界面上的实际接触面积可能结合起来(冷焊)而形成粘着。这些粘着点又不断破裂,断裂可能发生在结合面处,也可能发生在本体的突出部位,这就使某一表面上产生脱离了本体的金属磨屑。

2) 磨料磨损

由于硬颗粒或突出物的作用而造成物料迁移所导致的磨损,称磨料磨损。若有一个粗糙的硬质金属表面(例如锉刀表面),在压力作用下在一个软金属光滑平面上滑行时,粗硬的突出点将压入软金属表面并把它“犁”出一道道沟槽。犁沟是切削作用,所以原来在沟中的金属就被切削成磨屑而脱离其本体。

砂纸和砂轮在金属表面上进行磨削时,情况与此相同,所以也属于磨料磨损。不过这里粗的硬粒磨料已经不是金属而是非金属的硬质颗粒。如果磨料是固定在磨擦平面上的,这类形式的磨料磨损称为两体磨损。如果磨料不是固定的而是松散地处于压力作用下的两个金属表面之间(例如在平盘磨中研磨矿石,矿石就是磨料,它处于磨盘表面和磨辊表面之间)时,它对金属所起的切削作用应当也是相似的,也属于磨料磨损,这类形式的磨料磨损称为三体磨损。

3) 腐蚀磨损

这种磨损是在与腐蚀介质相处时发生的。在腐蚀条件下,在金属表面将形成一层腐蚀产物。如果金属表面没有相对滑行时,这层腐蚀产物将延缓或阻止腐蚀作用的进行;但有相对滑行时,这层腐

蚀产物将被磨损掉,使金属受到继续的腐蚀和磨损。

4)表面疲劳磨损

例如在滚动轴承中,滚珠与滚道之间的接触点上,其作用力是短暂的,但这种作用是不断地反复进行的。这样多次反复的加载和卸载,可能导致在接触面上以及在稍低于接触面的皮下形成垂直于或者平行于接触面的疲劳裂纹。这些裂纹的扩展以及互相交割,可能使金属表面开裂,以至剥落——磨屑脱离本体。

本书主要讨论磨料磨损。但在实际生产中的磨料磨损并不总是以上述形式进行的,故近年来在生产和研究工作中,又常把磨料磨损分为:

①凿削磨料磨损(例如颚式破碎机的颚板面上的磨损)。

②研磨磨料磨损(也叫做高应力碾碎磨料磨损,例如球磨机中磨球和衬板的磨损,平盘磨中磨辊和磨盘的磨损)。

③刮伤磨料磨损(也叫做低应力刮伤磨损,或简称冲蚀或冲刷,例如泥浆泵的叶轮和壳体的磨损,输送磨料的管道或滑槽的磨损)。

第(1)种磨损是在破碎大块硬磨料时,在磨料被破碎的同时,耐磨件表面受到凿削性磨损,显然这种磨损主要是由于磨粒刺入耐磨件表面经切削作用而形成的。第(2)种磨损是在把中粗磨料研磨成细粉时耐磨件表面受到的磨损。例如在球磨机中磨料的破碎很大程度上是由于磨球在转动中与其它磨球或衬板相接触时把磨料压在接触面之间,并超过其抗压强度而把它压碎的,或者是由于磨球在下落中把磨料撞击碎的。可见耐磨件表面之所以被磨损,显然是由于多种磨损形式,而凿削不是唯一的磨损形式。许多研究者认为在这里可能有两种其它磨损形式在起作用:①如果磨料的硬度较高,在耐磨件接触时和撞击时磨料被压入耐磨件表面,像硬度试验中硬度头压入试样表面那样,造成塑性变形,留下压痕;由于反复多次的塑性变形,耐磨件表面脆化破碎而形成磨屑。②如果磨料的硬度较低,磨料不能压入耐磨件表面,磨料对耐磨件所施的力低于耐磨件的屈服强度,则由于反复多次的接触和撞击,耐磨件表

面由于疲劳破碎形成磨屑,这就成为表面疲劳磨损。第③种磨损是当磨料随着流体运动时与耐磨件相撞,在磨料撞碎的同时对耐磨件造成的磨损。在这里耐磨件的磨损过程就更复杂些了。假使磨料比耐磨件的硬度高,而磨料对耐磨件的冲击角比较平缓,则磨料可能对耐磨件进行凿削磨损;但是在冲击角比较大时,磨料对耐磨件碰撞的接触时间极短,即相对滑行距离极短,凿削不可能是主要的形式,其主要的磨损形式可能是由于碰撞时磨料压入金属耐磨件表面所造成的多次塑性变形而致的脆化破碎。但是在磨料的硬度低于耐磨件时,不管冲击角的大小,磨料都不能压入耐磨件表面,因而可能是由冲击疲劳所造成的磨损。假如流体具有腐蚀性,则还伴随着腐蚀磨损。概括起来,磨料磨损大体上是由切削、反复塑性变形及疲劳等原因造成的。

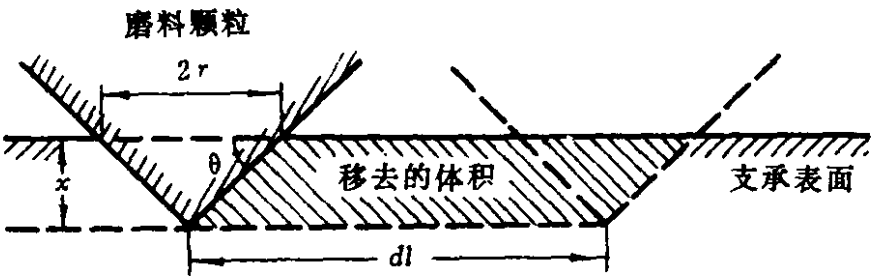


图 1-1 一个锥体从表面犁去材料的磨料磨损模型^[1]

根据切削形式推导磨料磨损的定量公式时,一般都采用图 1-1 所示的简单模型^[1]。假定磨料是锥形的,在压力作用下,锥头压入比磨料软的金属基体,在平行力的推动下,磨料对金属表面作平移滑动,磨料的锥头在滑行中用切削的方法从基体中切去一定体积的磨屑。先考虑一个磨粒锥体,磨粒锥面和金属基体水平面的夹角为 θ (θ 是表示磨粒几何特性的常数),其所受的载荷为 ΔL ,则

$$\Delta L = H \Delta A = H \pi r^2$$

式中 H —— 金属表面的硬度;

ΔA —— 刺入锥体的表面积。

刺入的锥体在垂直面上的投影面积是 $r \cdot x$,故当锥体移动 dl 距离时,将切削出 dV 的体积:

$$dV = r \times dl = r^2 \tan \theta dl = \frac{\Delta L \tan \theta dl}{\pi H}$$

$$\frac{dV}{dl} = \frac{\Delta L \tan \theta}{\pi H}$$

假如把所有磨粒锥体的作用均加起来,则有

$$\frac{dV}{dl} = \frac{L \overline{\tan \theta}}{\pi H}$$

式中 L —— 金属表面所受到的总载荷;

$\overline{\tan \theta}$ —— 所有单个磨粒锥体的 $\tan \theta$ 的平均值。

由此式可见,磨损率和外加载荷成正比,和基体的硬度成反比,其比例常数由磨料的特性决定。此式适用于在砂纸上作两体磨损试验。在三体磨损时,很大一部分磨粒处于滚动而不产生切削作用,故应在此式中乘以一系数。

理查森(R. C. D. Richardson)根据他在两体磨损试验机上所作的试验指出^[2]:由于磨料磨损过程中,金属材料受到强烈的加工硬化,故直接决定金属材料耐磨性的是金属材料经磨损后的表面最高硬度 H_u ,而不是其原来的硬度。在磨料硬度 H_a 比金属材料磨损后的硬度 H_u 高得多的情况下(例如以碳化硅或刚玉为磨料),金属

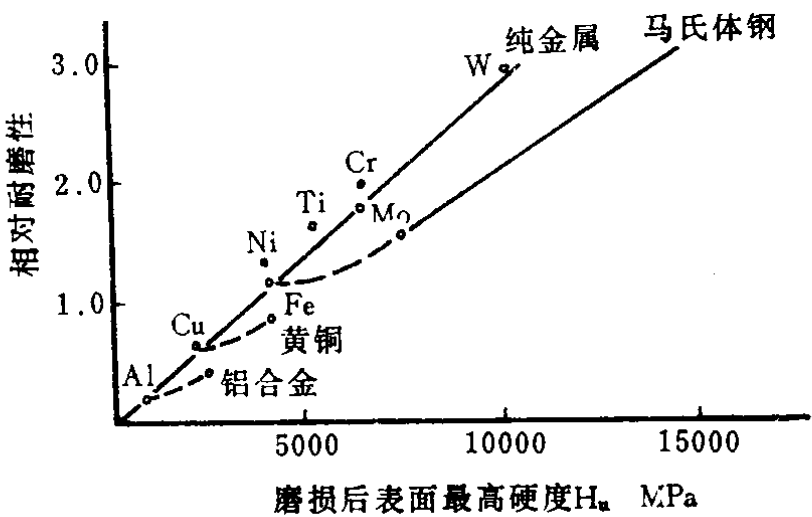


图 1-2 相对耐磨性与金属材料磨损后表面最高硬度 H_u 之间的关系^[2]

材料的相对耐磨性 β 与 H_u 成比例(见图 1-2)。而对于同一金属材

料来说, H_u 是一个定值, 若采用不同硬度的磨料测定耐磨性(此时的相对耐磨性为 b , 而采用硬度很高的磨料时的相对耐磨性为 β),

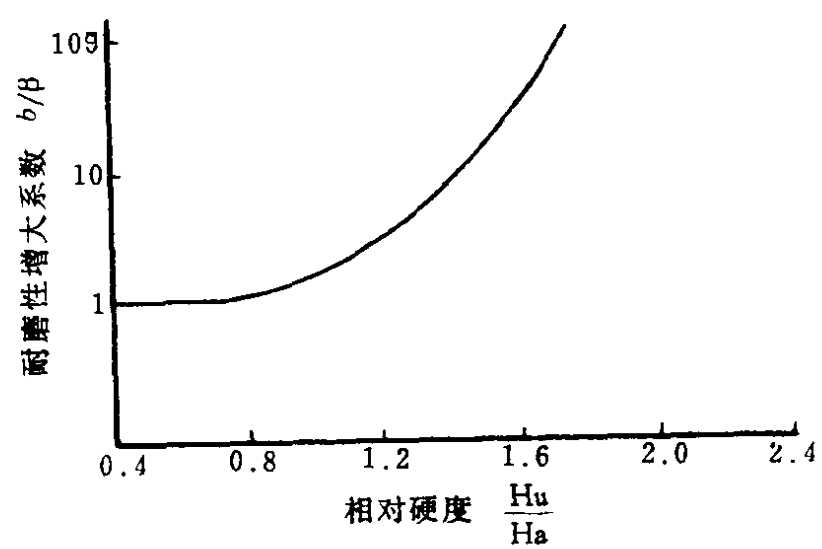


图 1-3 相对硬度 $\frac{H_u}{H_a}$ 对金属材料

耐磨性的影响⁽²⁾

则得如图 1-3 所示的曲线。当 $\frac{H_u}{H_a}$ 小于 0.8 时, $\frac{b}{\beta} = 1$, 而当 $\frac{H_u}{H_a}$ 大于 0.8 时, $\frac{b}{\beta}$ 值则随 $\frac{H_u}{H_a}$ 的增大而显著增大。

赫鲁晓夫(M. M. Khrushov)用淬火后回火到 HV 为 186、468、795 三种不同硬度的含碳量为 0.8% 的碳钢, 在不同硬度磨料的砂纸上测定耐磨性⁽³⁾, 其结果如图 1-4 所示。由图可见: ①存在两个临界磨料硬度, 超过高临界硬度, 磨料硬度对相对磨损不发生影响; 低于低临界硬度, 则几乎不发生磨损。②在两个临界磨料硬度之间, 相对磨损与磨料硬度成直线关系。③金属材料的硬度愈高, 则临界磨料硬度向右移动, 即向高硬度方向移动。由此可见金属材料的耐磨性并不完全是简单模型所描述的那种简单直线关系。

由上述分析可以看到, 在切削形式的磨料磨损中, 材料的耐磨性至少取决于两个因素, 一个是 H_u , 另一个是 H_a , 现举例说明其间的关系⁽⁴⁾。共析钢经淬火及中温回火后, 其硬度为 HV 503(相当于 HRC49.2), 在硬度为 HV 2200 的刚玉磨料上进行试验时, 其相对

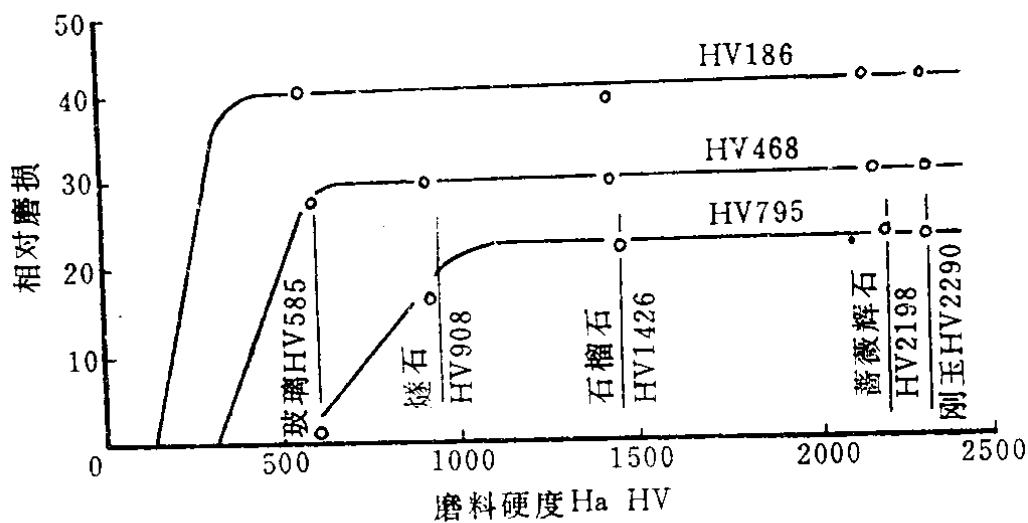


图 1-4 含碳 0.8% 的碳钢(三种不同硬度)

的相对磨损和磨料硬度的关系^[3]

耐磨性 β 为 1.71, 经磨损后的 H_u 为 HV 900, 此时 $\frac{H_u}{H_a} = 0.41$ 。将这种钢在硬度为 HV 1060 的石英砂磨料上进行试验时, 其测定的相对耐磨性 b 也是 1.71, 则 $b/\beta = 1$, 此时 $\frac{H_u}{H_a} = \frac{900}{1060} = 0.849$, 也就是说此时 $\frac{H_u}{H_a}$ 的比值还在 0.8 的附近, 故在这两种磨料上进行磨损试验时, 其所得的相对耐磨性是相等的。其后再将这种钢在硬度为 HV 590 的玻璃碎粒磨料上进行试验时, 其测定的相对耐磨性 b 为 4.98, $\frac{b}{\beta} = \frac{4.98}{1.71} = 2.91$, 此时 $\frac{H_u}{H_a} = \frac{900}{590} = 1.53$, 也就是说此时 $\frac{H_u}{H_a}$ 的比值比 0.8 大得多了, 故在软磨料上的相对耐磨性 b 比在硬磨料上的相对耐磨性 β 提高 2.91 倍。用同样的共析钢经淬火及低温回火后, 其硬度为 HV 650 (相当于 HRC 57.8), 在刚玉磨料上的相对耐磨性 β 为 1.86, 磨损后的 H_u 为 HV 1004, 此时 $\frac{H_u}{H_a} = 0.456$ 。但是在石英砂磨料上的相对耐磨性 b 为 2.35。此时 $\frac{b}{\beta} = \frac{2.35}{1.86} = 1.26$, $\frac{H_u}{H_a} = \frac{1004}{1060} = 0.95$, 也就是说, $\frac{H_u}{H_a}$ 的比值比 0.8 大一些, 其相对耐磨性比硬磨料时提高了 1.26 倍。在玻璃碎粒磨料上试验时, 其相对

耐磨性 b 为 69.4, 此时 $\frac{b}{\beta} = \frac{69.4}{1.86} = 37.1$, $\frac{H_u}{H_a} = \frac{1004}{590} = 1.70$, 也就是说, $\frac{H_u}{H_a}$ 比 0.8 大一倍以上, 其相对耐磨性比硬磨料时提高了 37.1 倍。这个例子一方面说明了图 1-3 所示的关系; 另一方面也说明了只有在 $\frac{H_u}{H_a} > 0.8$ 时, 以提高材料的硬度来提高材料的耐磨性才有更显著的效果。这就给我们指出了为破碎研磨一定物料时选择合适材料和合适工艺的方向。

朱穆·嘎尔(K. H. Zum Gahr)指出^[5], 在销盘式磨损试验中, 除了切削作用外, 还存在反复的塑性变形(部分材料挤向沟脊, 磨粒的顶面使沟槽底部产生塑性变形), 特别是在载荷较大时。故当载荷超过了某一临界值, 在计算材料的磨损量时, 由于犁沟作用除去材料及裂纹扩展引起剥落除去材料都需给予考虑。裂纹扩展引起的剥落与材料的断裂韧性有关。图 1-5 示意地表示了在用同一种磨料两种不同的载荷时, 各种材料的断裂韧性与耐磨性之间的关系。在每一种载荷下有一耐磨性最高点, 对此点左面的材料而言, 耐磨性是随断裂韧性的增高而增高, 但对此点右面的材料而言, 耐磨性是随着断裂韧性的增高而下降, 而材料的硬度总是随断裂韧性的增高而降低的。此耐磨性最高点随载荷的增加而右移。朱穆·嘎尔认为, 对于最高点左边的材料, 性质较硬脆, 由于裂纹引起的剥落不可忽视, 故耐磨性与断裂韧性有关; 而对于最高点右边的材料, 性质较软韧, 由于裂纹引起剥落的数量不多, 故断裂韧性对耐磨性的影响可以忽略, 耐磨性决定于材料的硬度。

上面分析的是以切削形式为主的磨料磨损, 若对主要是由于反复多次塑性变形或疲劳应力所引起的裂纹而造成材料剥落的磨料磨损而言, 则断裂韧性对耐磨性的影响将要更大些。

由前面的分析可以体会到, 耐磨性不是材料固有的机械性能, 它随磨料类型、工作状态等条件的变动而变动。故只能说某种材料在某种工作条件下的耐磨性, 而不能笼统地说某种材料的耐磨性。同样, 同一种材料在某种工作条件下耐磨性很好, 但在另一种工作

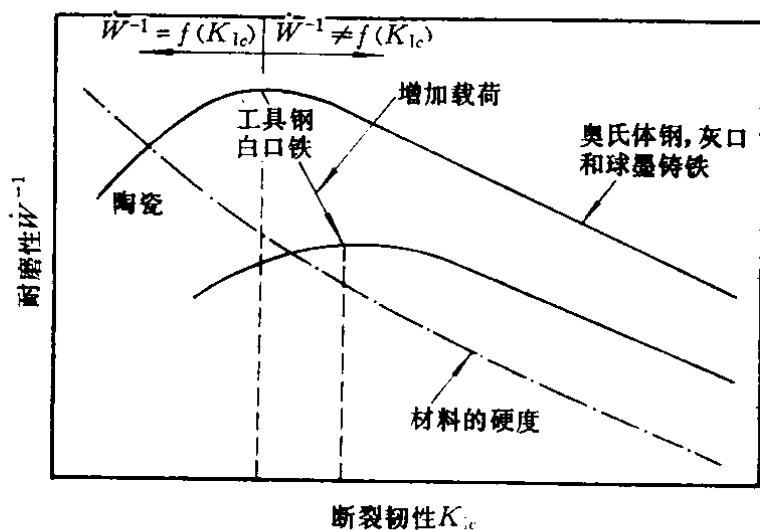


图 1-5 各种陶瓷和金属材料的断裂韧性与耐磨性之间的关系^[5], W 代表失重

条件下耐磨性却很差,例如高锰钢,在受冲击的工况下,确能发生加工硬化,表现出良好的耐磨性;但如果在工作过程中,不能得到加工硬化,则高锰钢就显得非常不耐磨。所以在不同的工况条件下对耐磨材料有不同的要求。

§ 2 普通白口铸铁概述

普通白口铸铁是指不含或只含少量特殊合金元素的白口铸铁。其金相组织中没有石墨,而是由珠光体和渗碳体所组成。由于不含合金的珠光体的显微硬度只有 HV 250~320,而含合金的珠光体 HV 300~460,不含合金的渗碳体 HV900~1000,而含合金的渗碳体 HV 1000~1200,故普通白口铸铁的硬度不太高,耐磨性不

大好。由于其共晶组织常是莱氏体型,故性能也较脆。但是其价格低廉,生产简便,故很早就用于生产,直至目前还应用于某些场合。

所选的成分应确保所生产的铸件在凝固时不形成石墨,有时也加些少量的特殊合金元素,以改善铸件的性能。在此各元素所起的作用如下:

碳:增加含碳量将增加白口铸铁的硬度,低碳白口铸铁(含碳量约 2.50%)的布氏硬度约 HB 375,而含碳量高时(3.5%以上)其硬度将高至 HB 600。但是提高含碳量将增加脆性;并使铸件凝固时易形成石墨,特别在含硅量较高时更明显,故高碳白口铸铁必需低硅。一般普通白口铸铁的含碳量为 2.2~3.6%。

硅:含硅量是影响共晶含碳量的主要因素。增加含硅量将降低共晶含碳量并促使形成石墨。一般普通白口铸铁的含硅量为 0.3~2.2%。

锰和硫:锰和硫应结合起来考虑。硫被中和后多余的锰将抑止石墨的析出,并使珠光体细化和具有较高的硬度,同时锰也是较强的奥氏体稳定剂,促使形成残余奥氏体。硫是作为杂质考虑的,虽然在一般情况下硫被锰中和,但所形成的硫化物将降低耐磨性,故含硫量应低些。

铬:常在含硅量小于 1% 的白口铸铁中加入少量的铬以防止石墨析出。少量的铬(小于 2~3%)主要分布在碳化物中,影响共晶碳化物的数量及硬度,故在普通白口铸铁中加入少量的铬有助于提高硬度及耐磨性。

镍:镍是促进石墨化的元素,故应同时加入铬以抵消其影响,一般说来一份铬可以平衡三分镍,但若欲得到全白口铸件,还需多用些铬,在低及中合金白口铸铁中铬:镍约为 1:1.3。镍完全分布在奥氏体或其转变产物中,它将使珠光体较细和较硬,从而改善耐磨性。

钼:钼分布在共晶碳化物和基体之中,它能强化及韧化珠光体。

表 1-1 用作面粉轧辊的几种普通白口铁^[6]

编号	要求成分 (%)								所浇试样的实际成分 (%)							
	C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr	Mo	C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr	Mo
101	3.4 ~3.6	0.5 ~0.8	0.3 ~0.4	≤0.15	0.3 ~0.5	0.2 ~0.3	0.1 ~0.3	0.1 ~0.2	3.53	0.66	0.67	0.039	0.47	0.28	0.59	0.257
102	3.4 ~3.6	0.4 ~0.6	0.5 ~0.7	<0.12	0.3 ~0.5	0.5 ~0.6	0.2 ~0.4	0.35 ~0.45	3.56	0.38	0.52	0.057	0.55	0.6	0.69	0.447
103	3.4 ~3.6	0.5 ~0.7	0.4 ~0.6	<0.12	0.3 ~0.5		0.4 ~0.7	1.2 ~1.4	3.40	0.58	1.01	0.044	0.51		1.10	1.17
104	3.2 ~3.5	0.7 ~1.0	0.5 ~0.8	<0.03	<0.15	0.9 ~1.1	0.4 ~0.6	0.1 ~0.3	3.53	0.79	0.87	0.035	0.055	1.01	1.07	0.265
105	3.0 ~3.4	0.8 ~1.2	2.0 ~3.0	<0.1	<0.1	1.5 ~1.7	1.0 ~2.0	0.45 ~0.55	3.26	0.83	2.53	0.031	0.070	1.68	2.60	0.55

注：几个试样的铬、锰含量有些偏高。

现以面粉轧辊为例,说明如何选定普通白口铸铁的成分及其对有关性能的影响^[6]。磨面机轧辊在工作期间不仅承受磨料——麦子和混入麦子的杂物诸如碎石碎砖等的磨损,还要承受一定的冲击载荷,故要求轧辊具有高的耐磨性、硬度和一定的冲击韧性。此外,在轧辊的制造和以后的使用过程中,还要对轧辊进行多次切削加工——拉丝。因此,硬度又不能太高。为满足上述要求,确定了两项性能指标:洛氏硬度 $HRC = 49 \sim 54$; 冲击韧性 $a_k \geq 40 \text{ kN} \cdot \text{m/m}^2$ 。一般用普通白口铸铁来制造,现选择常用的几种成分(要求的成分)列于表 1-1,均在铸态条件下使用。为了测试这些铸铁的有关性能,浇铸了一批试样,其实际成分也列在表 1-1 中。

这些试样铸态的金相组织及其组成的显微硬度见表 1-2。其有关性能见表 1-3。

表 1-2 几种白口铸铁试样铸态的金相组织及其显微硬度^[6]

编号	金相组织及其显微硬度
101	渗碳体型共晶碳化物 + 珠光体 + 少量索氏体 + 片状石墨 (HV 1112) (HV 352)
102	渗碳体型共晶碳化物 + 珠光体 + 少量索氏体 (HV 1128) (HV 373)
103	渗碳体型共晶碳化物 + 索氏体 + 少量珠光体 (HV 1167) (HV 424)
104	渗碳体型共晶碳化物 + 珠光体 + 少量索氏体 (HV 1151) (HV 447) (HV 538)
105	渗碳体型共晶碳化物 + 残留奥氏体 + 马氏体 + 珠光体 + 少量索氏体 (HV 1213) (HV 318) (HV 492)

注:1. 金相试样是由 20mm×20mm×110mm 的冲击试样(铸造后不经加工)上取得。
2. 显微硬度是四个数据的平均值。在 HMT-3 型显微硬度计上测定,所用载荷为 0.5N。