

塞200h便出现严重裂纹；活塞经阳极表面处理后可运行500h；复合材料活塞工作1500h经过30000周期的负荷还未出现裂纹^[27]。复合材料使用在活塞顶部，缓和了疲劳裂纹的产生，这一点可以使高速、高负荷内燃机燃烧室设计得更加理想，从而进一步改善燃油经济性和提高输出功率^[20]。

日本的丰田公司首次于1983年报道生产复合材料活塞以来，在短短的几年时间内，引起了世界各国的关注。据报道丰田公司已经形成了月产28000件的生产能力，并且由于生产量大，价格还低于常规活塞^[28]。另一家日本汽车工业公司生产顶部用SiC晶须增强的复合材料活塞每月可提供50000件产品^[7,29]。预计在90年代中，复合材料在汽车工作中的应用将形成高潮。

参考文献

- [1] T. Donomoto et al «SAE Technical Paper» No 830252 (1983)
- [2] «Advanced Materials & Processes»(1) 47~56(1989)
- [3] «Metal Progress» (1) 39~42(1986)
- [4] «Engineering Materials and Design» (1) 28~30(1988)
- [5] «Proceedings Of ICCM-V» 671~685 (1985)
- [6] «MTZ» 49(2)59~62(1988)
- [7] «High Speed Diesel Report» 7(5/6)14-15 (1988)
- [8] «铸物»61(6) 423~431(1989)
- [9] «工业材料»36(11) 35~40(1988)
- [10] A.E.PLC«US Patent» No 4708104 (1987)
- [11] M.E. Toaz et al «US patent» No 4587177(1985)
- [12] 铃木镇夫«JACT NEWS»(9)21/28(1987)
- [13] W.G.Spengler et al «SAE Technial Paper»No 860162 (1986)
- [14] «Machine Design»(8)68~73(1985)
- [15] «Proceedings of ICCM-V»687~698 (1985)
- [16] «Manufacturing Engineering» (5)61~62(1987)
- [17] «Light Metal Age» (8) 5~8(1986)
- [18] «Diesel Progress»54(9) 4~6 (1988).
- [19] «Materials Science and Technology» 3(1)57~60(1987)
- [20] «Materials & Design» 9 (1) 28~33 (1988)
- [21] «自動車技术»42(6)698~704 (1988)
- [22] «复合材料科学报» 4 (2) 77~86(1987)
- [23] «日本機械学会誌» 90 (927) 1289~1295 (1987)
- [24] «Advanced Materials & Processes» (5)48~51 (1988)
- [25] «日本機械学会誌» 90 (826) 1167~1174 (1987)
- [26] «Aluminium»63 (9) 932~935(1987)
- [27] «Automtive Engineering» (9) 65~66 (1989)
- [28] «Machine Design» (8) 68~73 (1985)
- [29] «High Speed Diesel Report» (1) 22-23, (2) 36~38(1985)

高强度灰铸铁的发展

中船总十二所 邢俊德 刘崇锁 袁燕

从1979年到1988年美国、日本、西德等工业发达国家的铸铁产量统计表明，随着球铁应用的不断扩大，灰铸铁件产量占铸铁件产量的比例基本呈下降趋势，美国从77.65%下降到60.08%；日本从65.92%

下降到64.60%；西德从76.74%下降到69.60%；英国从80.20%下降到65.79%；法国从67.84%下降到54.36%。随着机械工业向精化、强化、轻型化方向发展，在灰铸铁产量中，高强度灰铸铁所占比例越来越

越大。以西德1982年的铸铁生产为例,低牌号灰铸铁GG15(相当于我国的HT150)产量只占全部铸件的3.2%,而GG20到GG35的总和却占45%以上。法国CTIF指出,机床的基础件尽量采用抗拉强度为343~422N/mm²、硬度HB220~240的高强度灰铸铁。国外柴油机缸体、缸盖的材料牌号都在HT250以上,西德机床床身和日本K系列机床铸件材质的抗拉强度均要求343N/mm²以上。液压件要求抗拉强度在HT300牌号以上的比例越来越高。目前,国外高强度灰铸铁已广泛用于汽车、拖拉机、机床、液压件、通风机、精密机械、试验仪器、农业机械等各行各业。

我国铸铁件约占铸件总产量的84%,灰铸铁约占铸铁总量的86~89%,高强度灰铸铁的比例却很少。长期以来,我国对高强度灰铸铁的研究工作没有给予重视,致使高强度灰铸铁的生产技术比先进国家落后十多年。我国高强度灰铸铁件与国外相比有较大差距,主要表现在:

1. 寿命短

解放牌汽车一般行驶10~20万里(即一、两年)就需要进行大修,而国外汽车大修前可行驶60~80万公里。柴油机国内大修前只能用2000~3000小时,而国外能用6000小时,美国有的可达10800小时。缸盖、活塞环国内只能用3000~5000小时,差的只能用2000小时,而国外可达6000~8000小时。我国机床出厂时精度很好,但运行2~3年后因磨损而失去精度,而国外能保持精度20~30年。化工设备用的高硅铸铁耐酸泵,国内仅能使用1~2年,有的只能用几个月,而国外能用20年。

2. 笨重

因铸铁材质强度低、铸造工艺落后,所以铸件厚而重,如机床类铸件比国外重10%以上。国外柴油机缸体壁厚为4~6mm,抗拉强度245~294N/mm²,毛坯尺寸公差有的部位在1mm以下。目前国内缸体铸件大都采用抗拉强度为196N/mm²的普通灰铸铁,壁厚为6~8mm,有的达10mm,尺寸偏差也较大。柴油机的单位马力重量国外为5.0~6.3kg,国内为8.5~20kg。同样是75马力的发动机,英国里兰公司产品只有391kg,而我固有的厂达1000kg。西德MAN公司L20/27柴油机单位马力重量为6.5~7.9公斤,为国内同类型柴油机重量的1/2左右。解放牌汽车载重与自重比即重量利用系数为1,国外为1.5,载重5吨以上的汽车为2.5~2.6。

3. 断面敏感性大、加工性能差

由于国内孕育方法单一且铁水温度低,孕育效果差,衰退快,断面敏感性大。国外目前有一千种以上不同的孕育剂,常用的就有几十个品种,可针对铸件的不同要求采用不同的孕育剂及相应的孕育工艺。以柴油机为例,国外缸体、缸盖材质的牌号一般相当于我国HT250以上,金相组织为98%以上的珠光体和4~5级A型石墨,弹性模数为10000~14000kgf/mm²,相对强度RG为110~140%,而国内的一般为HT200,金相组织为40~98%数量不等的珠光体和4~5级A型石墨及B、D、E型石墨,弹性模量只有8000~10000kgf/mm²,相对强度RG仅为90~110%。此外铸件硬度不均匀,残余应力大、易变形、质量差、性能低。

一、近年来我国开发的高强度灰铸铁生产方法

从第五届铸造年会以来,我国高强度灰铸铁的研究和生产有了比较快的发展,开发了多种生产高强度灰铸铁的方法,归纳起来主要有:

1. 强化孕育

铸铁的强度随碳量或共晶度的增加而降低,共晶度与强度的经验关系为 $\sigma_b = 102 \sim 82.5 S_c$ 。因此,通常主要通过加入较多废钢,降低碳当量来提高强度。但是,这种铸铁的铸造性能差,硬度高。为此,国内不少单位通过采用优质焦炭,得到出铁温度大于1480℃、含氧化铁少的高温铁水, C_E 在3.9~4.1%时,添加含Ca、Cr、Re、Ba等元素的复合孕育剂等得到高强度灰铸铁。如无锡柴油机厂采用铸造焦、加入40%以上的废钢,铁水温度达1520~1540℃,经特种孕育处理后, C_E 为4.2%时,试棒 σ_b 达245N/mm²,相对强度RG为112.8%,HB229,珠光体含量大于98%。北京内燃机总厂、北京农机学院等通过提高铁水过热温度,采用Re-Ca-Ba孕育剂,浇注了一批缸盖, C_E 为3.9~4.05%时, σ_b 达284~304N/mm²,相对强度RG为110~121.9%,加工后水压试验未发现由于缩松而产生漏水现象。南昌柴油机厂用稀土中间合金代替75FeSi作孕育处理, C_E 为3.9~4.2%时,内燃机缸体与缸盖性能稳定地达到HT250要求,而且减少了铸件壁厚敏感性,在5毫米处没有自由渗碳体,石墨形态有所改善,铁素体数量减少,同时铸铁的耐蚀性提高。

2. 采用合成铸铁熔炼工艺

近年来我国采用电炉熔炼开展了合成铸铁熔炼工艺的试验研究工作。郑州机械所和第二汽车制造厂在实验室工作的基础上进行了合成铸铁的生产验证与批

量试生产,用10吨工频炉熔炼合成铸铁,以75FeSi孕育处理,在KW造型线上浇注汽车缸体铸件约1500个,变速箱壳体800多个,总重560多吨,质量完全符合要求,并均已装车使用。

采用60%以上废钢和回炉铁生产合成铸铁,克服了生铁遗传性影响,铸铁白口倾向少,金相组织好,机械性能高,铸造性能好,断面组织性能均匀,生产成本低,是制造发动机缸体、缸盖类薄壁高强度灰铸铁件的较好材料。合成铸铁的石墨以A型石墨为主,长度一般为200~300 μm ,比较均匀,基体大部分为珠光体组织,没有自由渗碳体、莱氏体,铁素体含量<5%,共晶团较细小。合成铸铁机械性能较好, $\phi 30$ 试棒在 $C_E 4.0\%$ 时, $\sigma_b > 245 \text{ N/mm}^2$,在同样的碳当量下, σ_b 比使用生铁电炉熔炼铸铁要高29~49 N/mm^2 , σ_{bt} 要高19~29 N/mm^2 ,比冲天炉灰铸铁件热大致可提高一个牌号。另外,合成铸铁含碳量低,含杂质少,有利于减少疏松,防止铸件渗漏缺陷。

3. 低合金化

国外在提高铸铁碳当量的同时,在炉内或者包内加入少量的铬、铜、铝等合金元素,从而获得高强度灰铸铁。这种生产方法,应用得比较普遍,效果也比较稳定。国内除少数单位继续研究这些元素的影响规律、合适成分范围及稳定的生产工艺,更多的单位在寻找新的、加入量少、便宜的合金元素,如锡、铈、铊等。另外,稀土合金已在球铁和蠕墨铸铁生产中应用,并已取得了明显的效益。清华大学系统地研究了微量或少量稀土合金对灰铸铁组织和性能的影响,发现微量稀土合金对于含S量<0.035的共晶、亚共晶和过共晶铸铁组织和性能有明显的影响。随稀土合金加入量增加,抗拉强度有两个峰值,第一个峰值的抗拉强度比原铁水提高19.0~49 N/mm^2 ,石墨为A型;第二个峰值的抗拉强度甚至比原铁水的高一倍以上,石墨为蠕虫状加球状。

4. 高Si/C比

60年代初国外就有资料介绍,硅碳比对铸铁的组织 and 性能有重要影响。国外一些工厂使用这种高硅碳比铸铁生产铸件获得了良好的效益。

近几年来,北京科技大学、北京机床研究所等单位对Si/C比铸铁进行大系统的研究工作。他们认为,通过调整化学成分,特别是改变并使Si/C比值为0.5~0.9,再加以适当的孕育和合金化,可以获得具有良好综合性能的高强度灰铸铁。昆明机床厂生产高Si/C比铸铁的经验是:当碳当量相同时,Si/C比高,铸铁抗拉强度提高,铸造应力下降,而且对 C_E 值变化的敏感

性小,即 C_E 变化较大,铸铁强度变化不大。在选择Si/C比时,欲获高Si/C比,势必要降低C量,用低C高Si配料制度。由于比Si/C高,正相同碳当量时,低C高Si析出的石墨量要比高碳低硅的少。因此,凝固收缩量大,产生疏松、缩孔的倾向增大。所以,在确定Si/C比时,对收缩缺陷较为突出的铸件,要综合考虑Si对强度和铸造性能的影响。为了提高机床导轨面的耐磨性,在高强度灰铸铁的基础上添加0.35%P,还有Cr、V等,为使导轨面在热时效后有较高的硬度,往往还添加0.5~1.0Cu。由于改变Si/C比可使奥氏体枝晶数量在15%范围内调整,因此,提高Si/C比能提高灰铸铁的抗拉强度。

5. 锰铸铁

锰铸铁的特点是强度高, σ_b 可达294~451 N/mm^2 ,抗生长性强,在长时间热应力作用下珠光体也不易分解;体收缩和内应力小。这种铸铁的车床床身,浇注后36小时开箱清砂后立即加工,铸件没有变形现象。郑州纺织机械厂自1976年以来就已在实际生产中应用了锰铸铁。据60年代英国专利介绍,这种铸铁的含Mn量比含Si量高0.2~1.8%。近几年来,陕西机械学院测定了不同Mn、Si差值对灰铸铁性能的影响发现,含Mn量在1.5~3.0%范围内提高Mn量,特别是当Mn量大于Si量时,能显著地细化共晶团,易于获得D、F型石墨和完全珠光体基体。另外,控制灰铸铁中的Mn、Si差值及Mn的绝对值,使Mn、Si差值在0~0.5%,Mn大于2%,还可得到不同类型的硬化钢。因此,控制Mn、Si差值和Mn的绝对值,能获得机械性能高、硬度均匀、耐压致密性好和耐磨性好的高强度灰铸铁。

二、高强度灰铸铁的工业应用

日本、美国等已普遍应用高强度灰铸铁制造各种铸件。我国70年代末开始研究,80年代开始应用于机床、印刷机械、通用机械、压缩机等铸件。根据我国现有的生产条件,多数厂采用高Si/C比铸铁。

宁江机床厂在北京机床研究所、北京科技大学的帮助下,从1983年就采用高Si/C比铸铁浇注各型自动车床、座标镗床、座标磨床铸件(铸件单重1.7Kg至1.3t,壁厚4至75mm),取得了明显的技术经济效益,大大减少了裂纹、变形、硬度不合格等缺陷所造成的废品,有些铸件的废品率由原来的25~30%降低到7%以下,加工表面质量亦得到改善。北京重型机器厂用高强度灰铸铁生产重型压缩机气缸、压力机横梁、汽轮机低压缸、启闭机筒筒等,一般重5~40t,壁厚为25~400mm,材质为HT300、HT250、HT

300三种牌号, Si/C比为0.63~0.90, σ_b 、 $\sigma_{0.2}$ 均能达到HT250以上的要求, Si/C比较以前孕育铸铁提高0.2~0.4, 白口宽度为0~2mm之间, 铸件缩松大为减少。北京第一机床厂在10t/h冲天炉条件下用低应力高强度灰铸铁生产机床床身、升降台、工作台等铸件, 化学成分(%)为C2.90~3.2、Si2.20~2.40、Mn0.80~1.20, V、Ti含量按MTVTi耐磨铸铁标准控制, 以保证铸件的耐磨性。铁水出炉温度为1430~1480℃, 浇注温度为1340℃以上, 用0.5%的75FeSi孕育。1983年12月该厂将Si/C比提高到0.65左右, 铸件的抗拉强度、相对强度和重量指标均有明显提高, 20~80mm厚的阶梯块不同断面硬度差在 Δ HB10~25之间, 加工后的机床铸件(导轨面、合面与其他薄壁断面)的硬度差 Δ HB为7~16之间。在Si/C比为0.65~0.80时, ϕ 30试棒的相对硬度RH绝大部分都在1.0以下, 即硬度值是稳定的, 这有利于改善机加工性能。北京人民机器厂在5t/h热风冲天炉熔炼条件下, 加入30~35%废钢, 出铁温度1430~1510℃, 采用0.2~0.3%75FeSi出铁槽孕育, 铁水化学成分(%)为C2.9~3.2、Si2.1~2.5、Mn0.9~1.1、CE3.7~4.0%。 σ_b 为300~350MPa, 并随着Si/C比提高, 相对强度RG都在100%以上, 比低Si/C比铸铁高10%, 硬度差 Δ HB为37。其中, H109~103墙板是典型铸件, 壁厚最大90、最小18mm, 用高Si/C比铸铁的硬度差 Δ HB为12, 而用低Si/C比铸铁时则为 Δ HB26。重庆磨床厂用2t/h两排大间距热风冲天炉熔炼, 炉料为地方生铁和焦炭,

废钢质量较差, 铁水温度1400℃以上, 以75FeSi孕育, 加入量为0.2~0.25%, 或用0.10稀土硅钙+0.10%75FeSi的复合孕育剂, 对于硼铸则用75FeSi 0.1%孕育。该厂用高Si/C比铸铁已生产了1000余吨铸件, 如床身、工作台、体壳、液压件等, 铸件最大的长3800mm, 重2.6t, 最小的仅有0.1kg, 壁厚最薄处(6mm)无白口, 最厚处(80mm)无疏松。扬州机床厂用HT200铸铁生产CO632台式车床, 因结构不合理, 铸铁刚性差, 壁厚不均匀, 铸件因裂纹而报废的占60~70%。为此, 该厂除改进铸件结构外, 还采用高Si/C比(\geq 0.75)铸铁, 使机床导轨面变形量由3.07mm/300mm降为0.010~0.015mm/300mm, 达到江苏省出口产品CO632台式车床技术条件规定的0.025/300mm的要求, 铸件废品率由20%降为8%以下。而且, 由于基体中珠光体量增加, 导轨面经淬火硬度提高, 床身的耐磨性提高。太原矿山机器厂过去用低Si/C比HT300生产液压马达壳体, 缸孔端面出现直径1~2mm的分散气孔, 上表面出现缩凹或白硬点, 加工后油缸孔有缩松和气孔, 铸件最终合格率低于50%。改用高Si/C铸铁(C3.00~3.10、Si2.1~2.4、CE3.75~3.85%), 并加入微量的Cu、Cr0.2~0.3%, 将浇注温度提高30~40℃, 浇出的铸件组织致密, 毛坯合格率达90%, 加工合格率为85%, 水压试验合格率为100%。碳当量 C_E 为3.9~4.0%、Si/C比为0.62~0.91时, $\sigma_b > 250$ MPa; C_E 为3.7~0.9%、Si/C比为0.65~0.85时, $\sigma_b > 300$ MPa, C_E 值愈低, 强度提高幅度愈大。

冲天炉熔制低碳当量球铁

四川省南充地区东方红机械厂
四川省南充工业学校

刘文川 黄国玺
陈永龙

一般球铁的含C量均为3.5~3.9, Si为2.3~2.9%, 其广泛性应用已近半个多世纪。然而有关低碳当量的球铁, 人们的研究甚少, 故此笔者作了这方面的探索。

一、低碳当量球铁的特点

经过我们的试验研究和生产实践表明, 低碳当量球铁与高碳当量球铁相比, 由于其含C、Si量较低, 所以球化剂和孕育剂用量较少, 抗球化和孕育衰退能力强; 不会出现石墨飘浮现象和不易出现缩孔(松)缺陷; 对于抗元素敏感性较小而对原材要求较低; 石墨

对基体的切割作用较小, 只是收缩性略高于一般球铁。

二、化学成分与处理工艺

低碳当量球铁化学成分的选择原则为: 经孕育处理后, 自由渗碳体量要尽可能少, 其铸造性能要良好, 铸件组织致密; 机械性能在热处理后, 要达到所需要牌号的性能指标。根据我们的试验和生产实践, 其化学成分(%)宜控制为 C_E 3.7~4.4、C3.0~3.5、Si2.0~2.6、Mn<0.5~0.6、P<0.10、S<0.03(S原<0.10)、Re0.02~0.06、Mg0.03~0.07。