

文章编号:1003-8345(2004)03-0001-08

球墨铸铁件无冒口铸造可行性论证与实践

——球墨铸铁缩孔、缩松问题探讨(一)

周 亘

(中国第一汽车集团解放汽车有限公司 无锡柴油机分公司,江苏 无锡 214026)

摘要:介绍球铁冷却、凝固过程中的体积变化以及型腔尺寸变化。分析、并用实例证明球铁件无冒口铸造的可行性及条件。指出无冒口铸造决不是无补缩铸造,强调采用高碳当量、高刚度铸型、同时凝固和强化铸型冷却以提高浇注系统补缩作用对实现无冒口铸造的重要性。

关键词:球铁;缩松;无冒口;补缩;

中图分类号:TG250.6, TG255 **文献标识码:**A

Feasibility Argumentation and Practice of Nodular Iron Castings Feederless Production

——An Approach to Shrinkage Problems of Nodular Iron(I)

ZHOU Gen

(Wuxi Diesel Engine Branch, Jiefang Automotive Co. Ltd., China First Automotive Group, Wuxi 214026, China)

Abstract: An introduction was made to volumetric changes of castings and dimension changes of mold cavity occurring during liquid cooling and solidification of nodular iron castings. The feasibility and pre-requisites to realize feederless production of nodular iron castings was analyzed and proved with practical examples. It was pointed out that the feederless foundry method is by no means a feedingless method, and it was emphasized that adopting high carbon equivalent, high rigidity mold, synchronous solidification and intensifying cooling capacity of the mold to increase feeding effect of the gating system are important to successfully realize feederless production of nodular iron castings.

Key words: nodular iron; shrinkage; feederless; feeding

根据球铁的凝固特点和成分特点,早在上世纪50年代就有人作出球铁可以采用无冒口工艺铸造的论断。40多年来,国内外有关球铁件无冒口铸造的试验研究报告不少,但生产应用却相对较少。笔者所在单位(原无锡柴油机厂)自1951年开始生产球铁以来,一直致力于球铁缩孔、缩松问题的探索。其中无冒口铸造的试验研究和生产应用早在上世纪60年代初就开始。本文将根据笔者从事该项试验研究和生产实践的体会,结合文

献报道,介绍本人对此工艺方法的认识。

1 球铁液态冷却和凝固过程的体积变化

球铁件缩松的产生与其液态冷却和凝固过程的体积变化密切相关。在已有的报道中,各人的试验方法和条件不同,结果也不同。其中C E Bates和B Patterson^[1]用预制的球铁件加工成 $\phi 12.7 \times 7.01$ mm的圆片状试样,放入与其精确配合的石墨铸型内,试样顶面压放一只可以浮动的活塞。将试样连同铸型一同加热到1250℃,然后让其随型一同冷却,根据活塞的位置确定试样的体积变化。其

收稿日期:2004-03-26

作者简介:周亘(1937-)男,退休高级工程师,长期从事球铁试验研究及生产技术工作,参与镁球铁在柴油机上应用的早期工作,是稀土镁球铁试验研究开发早期工作的主要参与者。

中一组试样成分 ($w_B/\%$) 为: 3.57 C, 2.78 Si, 4.5 CE, 0.075 Mg, 其 CE 值正好为石墨漂浮临界值 (见下文), 也是目前生产的控制上限, 较有代表性, 试验结果如图 1 所示, 体积变化为: (先共晶) 膨胀→收缩→(共晶) 膨胀→持续收缩。最后结果是有净膨胀 0.8%~1%。

B P Winter^[2]等人的试验用黏土砂干型, 试样尺寸为 $\phi 91 \times 229$ mm, 竖直底注。试样顶部设有一个直径 25 mm、有电加热的溢流冒口, 根据此冒口内液面的升降来计算试样的体积变化, 由于冒口直径比试样小得多, 故可以将试样内液面升降量放大, 便于测量。铁液成分 ($w_B/\%$) 为: 3.5 C, 2.51 Si (4.34 CE), 0.32 Mn, 0.009 S, 0.049 P, 0.08 Ni, 0.05 Cr, 0.03 Mo, 0.02 Cu, 0.032 Mg; 浇注温度为 1357 °C (浇注系统内降温 84 °C, 可能是由于浇道内设有冷铁)。结果发现球铁试样在浇注后体积一直在收缩, 其中液态收缩量为 2.0%, 凝固收缩量为 2.7%, 如图 2 所示。

笔者认为, 上述两种结果不同是由于试验条件不同所致: 文献[1]的试验由于试样尺寸太小, 又是采用石墨型, 如果铸型不经过加热, 冷速过快, 必然导致石墨化受阻而引起白口。即使铸型经

过加热, 冷速仍比文献[2]的试样快得多。这可以从两文所附金相照片看出: 文献[1]的石墨球数为 106~118 个·mm⁻², 文献[2]的球数根据照片计算只有 52 个·mm⁻²。因为冷速快, 过冷大, 石墨形核速度快 (在过冷度尚未达到阻止石墨化之前), 核心多, 故球数多, 共晶凝固前析出的石墨量也就较多, 因而引起共晶凝固前膨胀是完全可能的。由于铸型是全封闭的, 故膨胀容易显示而被测出。实际生产中, 铸件型腔总是有铁液进口和出口 (浇道、冒口、气眼等) 的, 在液态冷却期间, 型腔尚未封闭, 但已有部分石墨在液相中成核 (即使亚共晶球铁也是如此), 并长大到一定程度, R W Heine^[3]的研究证明, 这种先共晶石墨析出引起的过早的膨胀不但起不到补缩作用, 反而会将铁液挤出型腔, 妨碍补缩铁液进入铸件而引起缩松。再有, 文献[1]的试样始冷温度只有 1250 °C, 而一般铸件的正常浇注温度是 1350 °C 左右, 过热度增加 100 °C, 液态收缩增加 1.6%~1.8% (按文献[1]和[5], 每 100 °C 过热的液态收缩分别为 1.6% 或 1.8%, 按文献[2]的测量数据推算约为 1.69%)。如果加上这部分液态收缩, 再考虑到文献[1]作者的声明: 由于试样凝固后顶面不平整, 导致测得的膨胀量偏大, 而且试样内部还可能有显微缩松, 图 1 中体积变化的最终结果就不是膨胀了。

在文献[2]的试验中, 由于试样尺寸较大, 冷速慢, 石墨形核速度相对较慢, CE 也较低, 故液相中析出 (共晶凝固前析出) 的石墨核心数量和石墨析出量较少, 加上内浇道设有冷铁, 使其在浇注结束后快速凝固, 切断补缩铁液来源, 引起收缩大于膨胀, 因而没有测出先共晶净膨胀是完全可能的; 由于没有出现石墨析出高峰, 也就没有出现膨胀高峰。

为了排除试验条件的影响, R W Heine 用计算方法证明^[6], 灰铁和球铁凝固都可能膨胀或收缩, 取决于工艺条件和冶金条件。而在典型的铸造工艺条件和铸件尺寸下, 多半情况是灰铁膨胀, 球铁收缩。其中含 2.4% Si, 3.5% 和 3.7% C 的灰铸铁在 1155 °C (共晶凝固温度) 凝固时, 体积膨胀分别为 0.17% 和 0.71%; 同样成分的球铁在 1155 °C 凝固时, 体积收缩分别为 1.85% 和 1.35%; 后者如果再加上 1350 °C→1155 °C 的液态收缩, 收缩量就相当大了。实际生产中, 灰铸铁的 C、Si 量要比

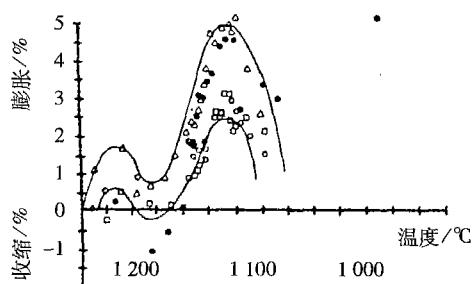


图 1 球铁在 1250 °C 至 1050 °C 的体积变化^[1]
Fig.1 Volumetric changes of nodular iron from 1250 °C to 1050 °C^[1]

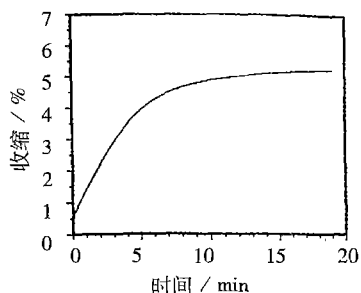


图 2 1357 °C 浇注的球铁的体积收缩^[2]
Fig.2 Volumetric shrinkage of nodular iron poured at 1357 °C^[2]

上述数值低得多,加上液态收缩其凝固结果实际上也是收缩。

上述分析说明,球铁和灰铸铁液态冷却和凝固过程体积变化的实际结果都是收缩。

2 型腔尺寸在铸件浇注和冷却过程中的变化

型腔尺寸在铸件浇注和冷却过程中的变化是影响缩松形成的另一个重要因素。文献[4]的作者对铸铁金属型和湿砂型的型腔尺寸变化进行了测量,并同步测绘了铸件的冷却曲线,结果是:金属型在浇注过程中,型腔迅速扩大,但此时铁液可以补充进入型腔,故这部分型腔扩大对缩松形成不会有影响。浇注结束时,型腔扩大即停止并转为持续向内缩小,显然对减少缩松有利。湿砂型在浇注开始之后,型腔迅速扩大,而后以减速度继续不断地扩大,直至共晶凝固结束为止,显然会增大铸件缩松倾向。文献[2]的试验对干砂型的尺寸变化的测量结果是:从浇注结束到共晶凝固初期,型腔迅速扩大,而后一直保持不变,直至凝固结束时,型腔略微缩小,这种变化对防止缩松也是有利的。

由于各种铸型的型腔尺寸在浇注过程中就已发生变化,因而用浇注前的型腔尺寸或模样尺寸与铸件尺寸比较来判断铸件外形胀大与否是不准确的。所谓“高刚度铸型”,应当是指型腔的铁液进出口凝固封闭后,型腔尺寸保持不变或缩小的铸型。

3 球铁件无冒口铸造可行性论证

C Renold 等人^[9]最早用计算方法进行论证:假设铁液过热温度为 232℃,按液态体缩率 1.6%/100℃计算,液态收缩量为 3.75%;凝固体收缩率按无石墨化的钢的数据为 3%;体积收缩总量为 6.75%。他们认为每 1% 的碳石墨化能使体积增加 3.5%,因此只需要 $6.75/3.5=1.93\%$ 的碳石墨化就可以抵消收缩。假如球铁含 3.5% C, 2.5% Si, 就有 2.5% 的碳以石墨碳形式析出,还有 0.6% 多余。因而认为“只要铸型刚度足够,就不会产生缩松”。

文献[4,7]认为上述计算中的石墨化膨胀量和过热温度两个数据取得不当,主张前者采用文献

[8]的数据 2%。这是根据 Fe_3C 分解变成石墨计算得到的。过热温度按当时(上世纪 80 年代以前)国内一般工厂的浇注温度上限 1300℃以及球铁共晶凝固温度 1150℃计算,只有 150℃,扣除铁液在浇注系统流动过程中的温降约 50℃,实际为 100℃,总收缩量为 4.6%,需要有效石墨碳量为 2.3%,仍旧少于 2.5%。因而仍然赞同文献[5]的结论。

文献[9]认为,石墨并非由 Fe_3C 析出,而是直接由铁液析出,故不应采用文献[8]的推算方法。他们根据灰铸铁(3.65% C, 2.7% Si)的液态和固态密度的测量值进行推算得到每析出 1% 石墨的体积膨胀量为 $2.02\% \approx 2\%$ 。结果仍与文献[8]相近。按此膨胀率,笔者计算如下:根据文献[10],含 Si 量为 2.5% 的铸铁,共晶奥氏体含碳量约为 1.54%;而根据文献[11],则为 1.6%。据此,文献[4,5,7]所用成分(3.5% C, 2.5% Si)的石墨碳析出量只有 $3.5\% - (1.54 \sim 1.6)\% = 1.9\% \sim 1.96\%$,膨胀量只有 $3.8\% \sim 3.92\%$ (按照[6]计算,膨胀量还要少)。为了防止夹渣、皮下气孔,国内从上世纪 80 年代始,通过采用铸造焦熔炼和感应炉双联,浇注温度一般都提高到 1350℃以上,参照文献[4]的估计,扣除浇注系统内温降 50℃(其实这部分温降也产生收缩,只不过在浇注过程中已即时得到弥补而已。严格地说,在分析球铁的自补缩能力时,此温度降不应扣除),过热度为 150℃,液态收缩为 2.4%~2.7%,加上凝固收缩 3%,总收缩量为 5.4%~5.7%,显然不可能全部由石墨化膨胀抵消。因此,不管采用何种工艺,球铁件总是需要补缩的。下面将用实例证明。

4 无冒口铸造实践

为了验证无冒口铸造的可行性,早在 1963 年,锡柴就与西安交大合作,对 4A110 柴油机球铁曲轴(4 缸, $\phi 90\text{ mm}$, 77.5 kg)采用无冒口工艺铸造系统地进行了试验研究^[12,13](图 3)。紧接着,锡柴又在 1964~1965 年单独进行了道奇 T-234 型汽车球铁曲轴(6 缸 $\phi 70\text{ mm}$, 70 kg)无冒口铸造试验和小批量生产^[14](图 4)。这是国内、外最早的球铁曲轴无冒口铸造试验研究和小批生产。之后,上世纪 70 年代,无冒口工艺又正式用于 300 系列大型柴油机飞轮生产。1993 年,6300ZC 曲轴(外

径 $\phi 220$ mm, 内径 $\phi 70$ mm, 1 500 kg) 采用干型无冒口工艺试验再次获得成功^[15](图 5)。

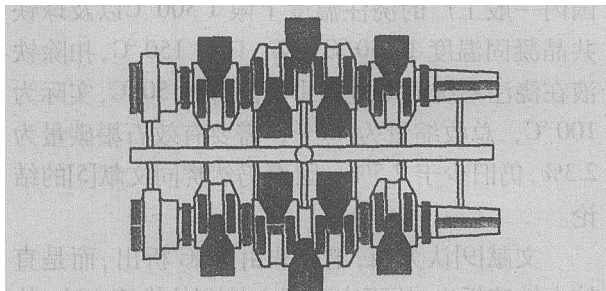


图3 4A110 型球铁曲轴无冒口铸造试验最后确定工艺(浇注重量 165 kg, 拔塞浇口杯浇注, 浇注时间 10~12 s)^[12]
Fig.3 Finally confirmed feederless foundry method of 4A110 nodular iron crankshaft (poured weight 165 kg, pouring time 10~12 s. Poured with stop basin)

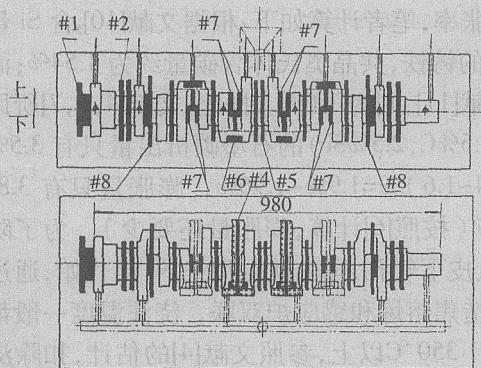


图4 道奇 T-234 型球铁曲轴无冒口小批生产工艺^[14](浇注重量 80 kg, 浇注时间 14~16 s)
Fig.4 Feederless foundry method of Dodge T-234 nodular iron crankshaft produced in small scale (poured weight 80 kg, pouring time 14~16 s.)

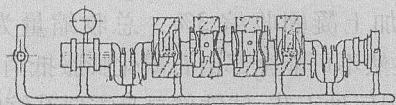


图5 6300ZC 球铁曲轴无冒口铸造试验确认工艺^[15](浇注重量 1 600 kg, 浇注时间 18~20 s)
Fig.5 Finally confirmed feederless foundry method of 6300ZC nodular iron crankshaft (poured weight 1 600 kg, pouring time 18~20 s.)

通过对 4A110 和 T-234 曲轴逐层铣切解剖, 并在剖面上进行磁力探伤检查, 6300ZC 曲轴采用表面磁探和内部超探, 证实球铁曲轴采用无冒口工艺铸造是可能的, 但并非如同文献[4, 5, 7]的推测, 只要碳当量和铸型刚度高就可以了。必须全面具备下列条件:

(1) 采用高刚度的铸型, 防止铸件在凝固期间胀大(我们采用的是高紧实度的黏土砂干型)。

(2) 尽量采用高的(接近共晶成分的)碳当

量(3.6%~3.8%C, 2.4%~2.6%Si, 4.3%~4.5%CE)和适当的孕育, 确保充分石墨化。

(3) 采用多道内浇道分散进铁, 并用冷铁调节配合, 尽可能使铸件各部分同时开始、并同步进行冷却和凝固。内浇道的设计宜采用薄宽形或三角形, 确保它们能在浇注后较快凝固, 防止石墨化膨胀压力松弛。(内浇道凝固早, 石墨化膨胀利用率高, 但液态补缩时间短, 补缩量小; 反之膨胀利用率低, 补缩量大)。

(4) 大量使用冷铁, 强化铸型冷却, 使铁液进入型腔后迅速冷却、凝固, 在内浇道凝固封闭之前提早完成一部分液态和固态收缩, 形成体积空缺, 增大内浇道的进铁量, 提高其补缩效果, 并使铸件外层提早凝固结壳, 防止铸件胀大(经过多次调整后, 每根 4A110 曲轴的冷铁用量多达 47 kg, 冷铁/铸件重量比为 60%; 道奇曲轴相应为 40.5 kg 和 58%)。

(5) 尽可能降低浇注温度, 减少液态收缩(浇注温度越高, 冷铁需用量越大)。

试验和小批生产证明, 球铁的碳当量较高, 有较大的石墨化膨胀量, 但在正常的浇注温度下, 并不足以完全抵消液态和凝固收缩, 因而在无冒口条件下, 必须充分利用浇注系统进行补缩。因此, “无冒口铸造”决不是“无补缩铸造”。“冒口补缩工艺”与“无冒口工艺”的区别仅在于前者是大量集中补缩, 因而往往采用顺序凝固; 后者是分散多点少量、快速补缩, 为此希望尽量达到各区段同时开始、同步进行由表及里的凝固, 以防止各区段互相抽吸铁液。文献[4]的作者用水泥型浇注 80 mm×80 mm×100 mm 的试块, 通过在浇注后不同时间(0 s、5 s、10 s)切断内浇道的方法, 观察试样的缩松变化, 结果发现, 浇道切断越早, 缩松越严重(缩松体积分别为 22.0、11.4、9.5 cm³, 内浇道不切断为 8 cm³)。这说明浇注系统确有补缩作用。实际上这种补缩作用在浇注过程中已在进行: 先入型的铁液在型壁的冷却下开始液态冷却和凝固, 由于所产生的石墨化膨胀不能全部抵消相应的液态收缩和凝固收缩, 因而形成体积空缺, 使浇注系统可以及时补充铁液。而由于浇注系统通过直浇道、浇口杯向外敞开, 成为卸压出口, 因此内浇道截面不能太大, 以免凝固过迟, 导致石墨化膨胀压力将液体挤出型腔。而在内浇道截面有限、通流时

间较短的情况下,为了提高浇注系统的补缩能力,就必须强化铸型冷却,使较多的铁液尽早进入型腔。在试验过程中,曾多次发现铸件某些部位出现表面缩陷,内部缩松,后来都是通过增加或加大冷铁,并对浇注系统作适当调整解决的。例如,在道奇曲轴试验初期,曾在头、尾两端都发现表面缩陷,相应部位有内部缩松(图6),原因是该处没有与冷铁接触,冷却、收缩过迟,超过内浇道的补缩时间,因而引起内部缩松并形成负压,进而引起外部缩陷。后来通过加厚冷铁,使该部位直接与冷铁接触,问题才得到解决。这种情况与用冒口补缩工艺铸造曲轴是不同的:有冒口充分补缩时,缩松处的外部往往不是缩陷,而是往外胀大,这说明液态补缩充足,但铸型刚度不足,缩松是石墨化膨胀引起外形胀大造成的。

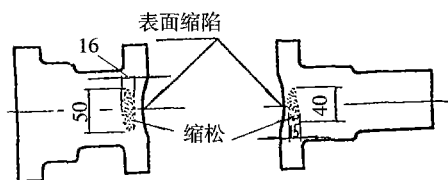


图6 道奇T-234型球铁曲轴无冒口铸造发现的内部缩松、外部缩凹现象^[14]

Fig.6 Inner shrinkage and surface depression found in Dodge T-234 crankshaft cast with feederless method^[14]

在国外的无冒口工艺研究中,比较有影响的是S I Karsay在上世纪70年代发表的观点。他提出的无冒口铸造条件是^[16-18]:

- (1) 浇注温度必须低于 1 350 ℃;
- (2) 铸件模数必须大于 2.5 cm;
- (3) 铁液冶金质量有利于石墨化,CE 最好在 4.2%~4.25%,孕育要充分;
- (4) 内浇道要适当的薄;
- (5) 铸型刚度要高;
- (6) 快浇。

笔者认为 S I Karsay 的条件不够完善,主要是:

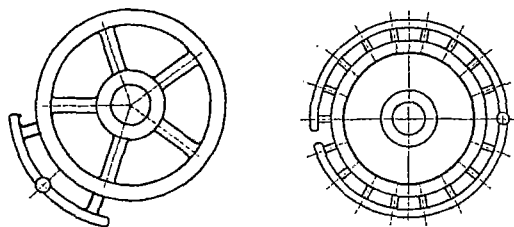
(1) 没有要求强化铸型冷却,内浇道的补缩作用将会不足。

(2) 没有强调分散进铁,同步凝固,难以避免凝固进程不同的铸件区段相互抽吸铁液,引起缩松。

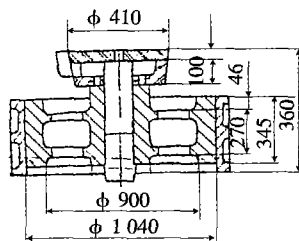
(3) 对铸件模数的限制不合理。

(4) 所推荐采用的碳当量(4.2%~4.25%)偏低。

在 S I Karsay 所列举的无冒口铸造实例中,既没有采用冷铁强化冷却,也没有建立同步凝固条件。例如他所列举的轮形铸件^[16],只采用两道内浇道在外圆局部区段集中进铁(如图7a),而且不用冷铁。铸件既没有作内部探伤,也没有进行逐层铣切解剖,更没有在剖面上进行探伤,缩松是否消除,难以置信。笔者的实践以及文献报道(如[19, 20])都证明,轮形或圆盘形铸件在无冒口的情况下,除了要用冷铁强化冷却之外,宜采用多道内浇道在轮缘外围分散进铁(如图7b),或者采用环形雨淋式浇注系统在轮毂顶部分散进铁(如图7c^[20]),确保铸件各部分同步冷却和凝固。如果采用局部集中进铁,缩孔、缩松总是难免的。



(a) 局部区段进铁 (b) 轮缘分散进铁(冷铁未绘出)



(c) 轮毂分散进铁^[20]

图7 轮形铸件的三种无冒口铸造工艺(示意图)

Fig.7 Three types of feederless methods for wheel-shape castings (schematic)^[20]

铸件模数大对采用无冒口工艺是有好处的,原因可能是:模数大,凝固速度慢,形核速度慢,共晶团数量相对较少,“糊状凝固”特点相对不很明显,铸件内部的液态通道畅通时间较长,石墨化膨胀较迟,既有利于补缩铁液进入铸件内部,也有利于膨胀用于抵消凝固后期的收缩。但凝固速度越慢,越要强化冷却,冷铁用量越大。根据锡柴的实践,模数不能小于 2.5 cm 的限制不切合实际。如道奇 T-234 曲轴的模数只有 1.75 cm,照样获得成

功;文献[21]的研究分析也证实,模数小于 2.5 cm 的铸件也可以实现无冒口铸造。但也要指出,模数小的薄件,冷却速度快,石墨析出早,共晶团数量多,“糊状凝固”特点相对比较明显,固-液区扩展快,液态通道容易堵塞,无论是用冒口补缩还是用浇注系统补缩(无冒口工艺)都相对比较困难,都会因为液态通道堵塞过早造成补缩不足而引起内部缩松和表面缩凹。但大型壳体类薄壁件情况有所不同:一方面由于凝固时间相对较长,液态通道封闭较迟,对液补有利;另一方面,由于内腔砂芯体积大,浇注后受热膨胀(据欧洲某公司提供的内部资料,砂芯体胀率最大可达 4%。膨胀与否、膨胀率大小与砂芯材料、尺寸、浇温、铸件凝固时间、断面厚薄等因素有关)可以抵消部分收缩,因此也可以实现无冒口铸造。如锡柴的 16V300 柴油机球铁缸体,主要壁厚为 18 mm,重 20 t,用干型和呋喃砂型无冒口工艺浇注,都获得成功。原因是冷速慢(浇注后过 7 天才能开型),除石墨化膨胀自补和液补较好外,砂芯膨胀也起到很大的补缩作用。由于砂芯膨胀压力过大,还要在铸件顶部设溢流冒口卸除部分压力。对于小型薄壁壳体件而言,由于冷速快,不但液补较差,而且由于铸件在砂芯尚未热透、尚未膨胀之前早已凝固结束;对于砂芯较小的厚大件,由于凝固缓慢,砂芯膨胀时,铸件还是液态,型腔尚未关闭,会将液体挤出型腔,因而都不可能通过砂芯膨胀得到补缩。因此,模数大小的影响不能一概而论。

关于碳当量控制,锡柴在 1964 年用厚度约为 0.5 mm 的全白口薄片试样定碳,解决了球化后碳量分析不准问题,以 4A110 曲轴为主要对象,测出球铁出现石墨漂浮的临界碳当量是 4.55%^[22],英国铸铁研究学会 1986 年发表的研究结果是 4.50%^[23]。40 年来,锡柴的中、大件一直采用 4.3%~4.5%,小件 4.4%~4.7% 的碳当量,实践证明是合理的。

5 无冒口铸造对铸型的要求

在 4A110 曲轴各次无冒口铸造试验中,对各档轴颈直径的型腔和铸件尺寸进行了测量。226 组尺寸全部为收缩,平均值为-2.45%。为了对比,对湿型(震动造型+风枪打实)曲轴也测量了 60 组尺寸,全部为膨胀,平均值为+1.88%。由于测量难度较大,准确度较差,而且型腔在浇注过程中还

有所扩大^[2,4],但仍能说明二者的差别:干型铸件收缩,湿型铸件膨胀。在第一次试验中,曾在浇注后约 15 min 发现砂型紧固螺栓被胀断(根据下文图 8,该曲轴凝固时间约为 23 min);之后加强了螺栓,但浇注后仍发现在离开螺栓部位,上、下型之间出现缝隙。膨胀力如此大的原因可能是由于铸型内表面冷铁较多,兼有干型和金属型性质,型腔在铸件凝固期间缩小^[2,4],与铸件膨胀相抵触的缘故,因而除阻止铸件膨胀、并使铸件缩小之外,还将上、下型连同砂箱一起撑开。湿型与之不同:浇注后,型腔表面产生低强度的水分迁移层,使铸件容易膨胀;背砂则受热膨胀,砂块脱离箱壁、箱档向上隆起,更利于铸件胀大。因此,湿型不适合用于无冒口铸造,湿型铸件致密度和力学性能比干型低^[13,14],原因亦在于此;而干型真正达到高刚度,还需配有高刚度的砂箱。

另外,上文已提到,用于无冒口铸造的铸型除了刚度高之外,还要求有较强的冷却能力。因此,除黏土砂干型之外,可以采用金属型、覆砂铁型、水泥砂型等。国外有人认为^[24],呋喃树脂自硬砂有高的抗压性能,适合于球铁无冒口铸造,笔者实践发现,这种看法不完全正确。1993 年,锡柴在用干型无冒口工艺试制 6300ZC 大马力柴油机曲轴成功后,将全套工艺移植到呋喃树脂自硬砂型,投产结果却产生严重的缩松、缩孔,导致多起断轴事故。为了查明原因,除尺寸测量没有发现铸件胀大外,我们还对呋喃砂型曲轴和黏土砂干型曲轴进行材料密度测量对比(在严格规定的 4 个部位取样),并用几种模数不同的立方体试块进行凝固时间对比测定。结果分别示于表 1 和图 8。

由表 1 可知,呋喃砂型曲轴的材料密度接近

表 1 6300 曲轴材料密度测量结果

铸型类别	曲轴编号	试样编号	不同取样部位的材料密度/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$				平均值/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	总平均值/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$
呋喃树脂自硬砂型	#60	1	7.1683	7.1790	7.1858	7.1805	7.1684	7.1692
		2	7.1733	7.1748	7.1770	7.1781	7.1758	
	#65	1	7.1527	7.1588	7.1523	7.2167	7.1527	
		2	7.1481	7.1530	7.1574	7.1465	7.1513	
	#66	1	7.1609	7.1936	7.1878	7.1836	7.1815	
		2	7.1616	7.1064	7.1817	7.1856	7.1588	
黏土砂干型	#2	1	7.1550	7.1610	7.1650	7.1570	7.1595	7.1590
		2	7.1640	7.1460	7.1640	7.1600	7.1585	

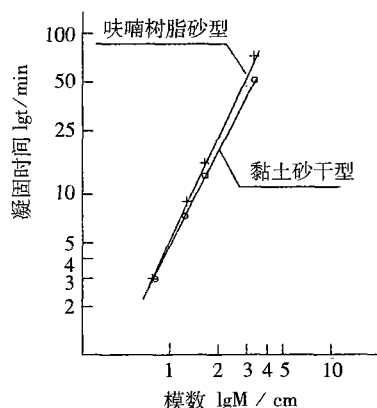


图8 凝固时间与模数和铸型材料的关系
Fig.8 Relationship between solidification time, modules and mold materials

而略高于黏土砂干型曲轴。说明只要浇注后不翻动铸型,呋喃砂型不会胀大,铸型刚度足够。而由图8可见,呋喃砂的散热速度比黏土砂干型慢得多,而且模数越大,差别越大。对薄小件而言,凝固时间延长不多,内浇道的凝固时间几乎没有延长;但对厚大件6300曲轴而言,呋喃砂铸件的凝固时间约为黏土砂干型铸件的1.5倍,即使大幅度增加冷铁用量,由于冷铁外围的型砂散热缓慢,铸型冷速仍然偏慢,因而浇注系统相对提前凝固,造成液态补缩量不足,成为缩孔、缩松的原因。最后的解决办法是在增加冷铁的同时,恢复使用冒口补缩。这个事实再次证明强化铸型冷却对无冒口铸造的重要性。因此,用呋喃砂型进行无冒口铸造一般只适合于技术要求相对较低(不探伤)的铸件(锡柴目前仅用于300系列大型柴油机的球铁飞轮)。

6 结论

通过实践并结合上述分析,可以作出如下结论:

(1) 试验和小批生产证明,在一定条件下,球铁件采用无冒口铸造是可能的。

(2) 在实际生产所用C、Si量和浇注温度下,球铁的石墨化膨胀总量并不足以抵消液态和凝固收缩,因此无冒口铸造决不是无补缩铸造。在无冒口条件下,必须充分发挥浇注系统的补缩作用。为此,必须强化铸型的冷却能力。

(3) 无冒口工艺与冒口补缩工艺的差别在于:前者由于浇注系统的有效补缩时间较短,因而

对铸型刚度和冷却能力要求较高,以便能尽量充分利用石墨化膨胀和提高浇注系统的补缩效率。后者由于冒口的有效补缩时间较长(因为不是通过冒口颈冻结,而是通过与冒口连接的内浇道冻结来防止压力松弛,所以冒口颈可以较大),补缩能力较大,对铸型要求可以适当放宽。由于铸型条件的高要求,无冒口工艺只能用于单件或小批量生产。

(4) 不用冒口可以提高工艺出品率,省去冒口清理工时;但要用于干型和大量冷铁,前者需要烘烤,后者需要铸造、清理、打磨以及造型时须人工安放和固定,不但耗费大量材料和工时,使自动化造型无法实现,而且还会严重影响铸件表面质量并可能引起气孔和气缩孔。

(5) 金属型、干砂型等高刚度铸型在铸件凝固过程中型腔缩小、型芯膨胀也有助于补缩,但缩小和膨胀的时间宜在型腔进、出口关闭以后,铸件凝固结束之前。具体规律有待进一步研究。

参考文献

- [1] Bates C E, Patterson B. Volumetric Changes Occurring During the Freezing of Hypereutectic Ductile Iron [J]. Transactions of AFS., 1979:323~334.
- [2] Winter B P, Ostroff T R, Hartman D J, et al. Mold Dilation and Volumetric Shrinkage of White, Gray and Ductile Cast Irons[J]. Transactions of AFS., 1984:551~560.
- [3] Heine R W. Major Aspects of Processing Cast Irons [J]. Transactions of AFS., 1994:985~1002.
- [4] 徐承祖. 球墨铸铁缩松形成机理的探讨与防止方法的研究(研究生毕业论文)[C]. 西安:西安交通大学. 1964.6:16~20.
- [5] Reynolds C, Mailre J, Tailor H. Feed Metal Requirements of Ductile Iron Castings [J]. Transactions of AFS., 1958:386~389.
- [6] Heine R W. A Model for Specific Volume and Expansion and Contraction Behavior of Solidifying and Cooling Ductile and Gray Iron[J]. Transactions of AFS., 1988:413~422.
- [7] 周庆德, 陆文华, 徐承祖. 球墨铸铁缩松形成机理的探讨与防止方法的研究[J]. 西安交通大学学报, 1963, (4):31~57.
- [8] Гиришович Н.Г. Чугунное Литье [M]. МАШИЗ. 1949.
- [9] 河南省机械局球墨铸铁编写组. 稀土镁球墨铸铁生产及应用[R]. 1976:227~231.
- [10] Brewer L, Chipman J, Chang S G. Constitution of Ternary Alloys (C-Fe-Si Phase Diagram) [M]. Metals Handbook, 8th Edition. Vol.8. Metallography, Structures and Phase Diagrams. American Society for Metals. 1973: 413~414.
- [11] Piwowarsky E. Hochwertiges Gusseisen [M]. 1958.

文章编号:1003-8345(2004)03-0008-05

感应淬火灰铸铁气缸套的耐磨性研究

艾小玲

(武汉职业技术学院 机械工程系,湖北 武汉 430074)

摘要:对感应淬火灰铸铁气缸套进行了气缸套—活塞环摩擦副耐磨性试验,结果表明:无论是从磨损量的最大值来看,还是从磨损量的总值来看,灰铸铁感应淬火缸套——(球铁+镀铬+TiN)环都是最好的摩擦副。

关键词:灰铸铁;气缸套;摩擦副;耐磨

中图分类号:TG143.9 **文献标识码:**B

An Investigation on Wear Resistance of Gray Iron Cylinder Liner Quenched with Induction Heating

AI Xiao-lin

(Wuhan Professional Institute of Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: An experiment on the wear resistance of cylinder liner-piston ring friction pair by using the cylinder liner quenched with induction heating was conducted. The result showed that based on the maximum wear values or the total wear values, the induction heating quenched gray iron cylinder liner-(nodular iron +Cr plated + TiN) ring pair always is the best friction pair.

Key words: gray iron; cylinder liner; friction pair; wear resistance

随着人类对生态环境的日益重视,对车用发动机低排放、低油耗的要求也越来越严格,为此必须使发动机的燃烧进一步接近理想状态,以减少能源浪费和环境污染。由于气缸套—活塞环这对摩擦副是影响发动机理想燃烧的一个重要原因,因

此开发结构简单紧凑、运行稳定可靠、抗磨损性能优良的气缸套—活塞环或无缸套气缸体—活塞环摩擦副无疑已成为汽车生产厂家所关注的重点之一。国内某著名发动机生产厂为探求生产小缸径无缸套气缸体发动机的可行性,先用与该气缸体材料一致的灰铸铁气缸套进行耐磨性试验。为提高耐磨性,对气缸套进行了感应加热淬火。

收稿日期:2003-05-10

作者简介:艾小玲(1964.2-),湖北武汉人,大学本科,副教授,目前主要从事金属材料的研究和教学工作。

- [12]周亘. 4A110 球墨铸铁曲轴无冒口铸造试验[R]. 无锡柴油机厂. 1963.12.
- [13]吴之风,周庆德,陆文华.球墨铸铁曲轴的无冒口铸造[C].全国铸造年会论文.1963(天津):1~28.
- [14]周亘.T-234 型道奇球墨铸铁曲轴无冒口铸造试验[C].上海球墨铸铁讨论会论文. 1965:1~20.
- [15]周亘.6300ZC 球铁曲轴无冒口铸造工艺试验[R].无锡柴油机厂.1993:1~6.
- [16]Karsay S I. Ductile Iron Production I [M].1976.Q.I.T.
- [17]Karsay S I. 球墨铸铁的浇口和冒口[M].北京:清华大学出版社,1983.
- [18]Karsay S I.灰铸铁和球墨铸铁的补缩方法(第45届国际铸造会议论文中译本)[C]. 1982:2~22.
- [19]许峰,于泉珠,刘峰,等.厚大断面球墨铸铁卧式车床卡盘的铸

造[J].现代铸铁,1996,(1):35~38.

- [20]赖如柏,刘耀辉,刘远庭.大型球铁齿轮无冒口铸造工艺[J].现代铸铁,1999,(1):47~49.
- [21]裴清祥,白天申,柳百成,等.球墨铸铁和灰铸铁收缩特性的研究[J].现代铸铁,1988,(4):49~53.
- [22]无锡柴油机厂,无锡球墨铸铁研究室.稀土镁球墨铸铁[M].上海:上海人民出版社,1973:88~91.
- [23]Fuller A G, Blackman T N. Effects of Composition and Foundry Process Variables on Graphite Flotation in Hypereutectic Ductile Irons[J]. Transactions of AFS.,1986:823~862.
- [24]Tsuguro Hirata, Masanobu Kanemitsu, Toshikazu Ishida(日本制钢广岛工场).球铁铸件的无冒口铸造[C].北京国际铸造会议文集.1986:338~351.