

文章编号:1007-6077(2001)05-0008-04

采用金属型生产气缸套毛坯的最佳铸造工艺

[俄罗斯]С. В. Галагаев

摘 要:介绍了利用优化法研究在金属型内铸造灰铸铁气缸套的工艺过程。研究结果表明,该方法对提高灰铸铁气缸套毛坯质量有较好的效果,并且可用白口试样来修正工艺参数。

关键词:金属型;铸造;内燃机;气缸套;灰铸铁

中图分类号:TG249.3

文献标识码:B

对金属型铸造来说内燃机气缸套是相当复杂的零件,因为当壁厚不大时(10~15 mm)必须保证铸铁完全无白口,并保证其组织符合严格的技术条件的规定。为解决类似问题,最好采用综合方法,即在第一阶段寻找出未知的铸件质量指标与输入变量值之间的统计关系,然后采用有效的计算优化方法,找出最佳值的范围。在第二阶段最好尽可能利用所有现有的过程信息。

本文采用带人工气隙的金属型铸造工艺。该工艺可在金属型无绝热涂层的情况下获得无白口的高强度灰铸铁件。用Л5和ПЛ1生铁、废钢和本身生产的回炉料作为炉料,在感应炉NCT. 016内熔炼铁水,其化学成分(%)如下:2.9~3.55 C;1.7~2.6 Si;0.7~1.05 Mn;0.05~0.075 Cr;0.02~0.04 S;0.07~0.09 P。在铸铁内C、Si和Mn含量的变化范围相对较宽,这是为了提高寻找可靠的“成分—性能”型统计关系的可靠度而作这种选取的。作为模拟毛坯,采用外形比较复杂的“ВНХРb-30”船用柴油机气缸套铸件。该气缸套铸件有5个穿通窗口,它们是在铸造时,在中央型芯上用相应的凸台形成的(参见图1)。

预试验表明,在Cu和Ni的含量达0.55%时,它们对基体珠光体化的总影响较相同数量Sn的作用减弱75%。因此,铁水用Sn进行微合金化(Sn量达0.13%,与变质处理同时进行)。作为变质剂采用ΦC75, CB20或其混合物,并且在所有情况下加入的变质剂总量为0.6%,这是为了获得无游离渗碳体组织的气缸套毛坯,特别是在具有小曲率半径的窗口与壁的连接处不出现游离渗碳体所必要的。打开

金属型的时间间隔 t_p 在5 s~11.5 s之间变化,具体视浇注温度 $T_{\text{注}}$ 而定。浇注温度是在实际生产时所规定的范围内(1280~1390℃)变化的,而金属型的预加热温度 $T_{\text{预热}}$ 根据铁水能可靠地充满型腔的条件来选取,应保持在230~300℃范围内。

铁水通过在中央型芯和下型芯内做出的虹吸式浇注系统浇注,从而保证可靠地获得无铸造缺陷的毛坯。保持一般铸件表皮凝结所必须的时间后,打开金属型,立即将铸件与底盘一起转移到退火室。退火室的温度靠积聚的热量可提高到 $1100 \pm 20^\circ\text{C}$ 。将铸件保持在该室内60~180 s,以保证分解铸件外层内的游离渗碳体。

输入变量的值是按照用随机数表建立的实验方案矩阵在上述范围内改变的。铸造毛坯的质量按硬度(HB)、基体内的铁素体(Φ)数量、石墨夹杂物长度(Γ_{A})和被石墨 Γ 占据的面积来评定。所有这些参数是在相应于气缸套镜面位置的区域内测量的。实际数据按统计处理可获得回归分析公式。该回归分析公式可在气缸套的质量指标与金属型铸造工艺参数之间建立起联系,其置信概率为90%:

$$\text{HB} = 593.5 - 97.1\text{C} - 61.2\text{Si} + 43.7\text{Mn} + 204.2\text{Sn} + 0.18\Delta T_{\text{L}}; \quad (1)$$

$$\Phi = 94.2 + 27.3\text{Si} + 15.5\text{C} - 8.1 \cdot 10^{-2}\Delta T_{\text{L}} + 8.6\text{M} - 65.7\text{Sn}; \quad (2)$$

$$\Gamma_{\text{A}} = 98.2 - 6.22t_p + 0.26\Delta T_{\text{L}} - 24.3\text{M}; \quad (3)$$

$$\Gamma = 4.8 + 1.7\text{Si} - 0.43t_p + 2.3 \cdot 10^{-2}\Delta T_{\text{L}} - 9.12\text{Sn}, \quad (4)$$

式中:

$\text{M} = 0\% \sim 0.6\%$ 为ΦC75变质剂的含量, $\text{M} = 0$

表示不加变质剂,而是在铁水中加入 0.6%CB20;

$\Delta T_L = T_{\text{浇}} - T_L$ 为在浇注瞬间铁水超出液相线的过热温度。

分析式(1)~(4)表明,提高铸铁内 C 和 Si 的含量有助于降低气缸套材料的硬度,并增加组织内的铁素体数量。并且, C 对 HB 下降的影响更为明显,而 Si 会增加铁素体的数量。Mn 可稍许提高气缸套的硬度,但在实验条件下未明显影响其它质量指标。Sn 微合金化可促使基体珠光体化,并提高其硬度。实际上显著影响气缸套毛坯所有质量控制指标的重要工艺参数是 ΔT_L , 其作用较单单 $T_{\text{浇}}$ 的作用明显得多。提高 ΔT_L 有助于降低组织内的铁素体数量,稍许提高气缸套硬度。用所采用的添加剂变质处理铁水,不会明显影响其硬度,但在变质剂中增加 CB20 的比例,可导致基体较强的珠光体化和提高石墨夹杂物的长度。

根据气缸套的技术条件和带人工气隙的金属型铸造无白口灰铸铁毛坯的特点,即可提出最高水平的工艺参数值和铸件质量指标的要求。按技术条件,气缸套铸件的硬度应在 HB 207~240 之间,而 Mn 含量在 0.7%~1% 范围内。为获得最好的铸铁特性,除最佳硬度外,基体应是不高于 4%~5% 铁素体的珠光体。此外,石墨夹杂物的形状、尺寸、数量和分布应是最佳的,因为不论是石墨数量和夹杂物长度的显著增大,还是石墨的尺寸过分减小到点状,都会使铸铁的耐磨性下降。对内燃机气缸套来说,建议采用均匀分布的片状石墨 ($\Gamma\Phi 1$ 、 $\Gamma\Phi 2$ 、 $\Gamma_{\Delta 45}$ ~ $\Gamma_{\Delta 120}$)、及 (Γ_{Pl}) 的灰铸铁。同时,为确保铸铁内无白口,最好提高铸铁内的 Si 和 C 含量,同时限制 Cr 的含量 ($<0.1\%$), 并应进行变质处理。因此,所研究的问题十分矛盾,无法取得明确的解。这是因为铸造工艺参数和化学成分对铸件质量指标(1)~(4)的影响是非单向的。

为求出金属型铸造的最佳条件,采用了多判据优化方法,其可在单一求解方法的框架内考虑所有现有的有关被分析过程的信息,其中包括直观的特性。这是通过利用期望函数的概念和在成对比较的矩阵基础上把质量因素和判据按大小排列的做法来达到的。总之,在提出优化任务时这可简化下列先验信息的汇总过程,即铸造工艺参数、铸件质量指标和它们的相对重要性的最佳值和不允许值。

从所获得的输入变量和输出变量的秩(参见表

1)可归纳出有关的最重要因素的信息。在这种情况下满足硬度和基体内铁素体数量的要求是最重要的,而硬度和铁素体数量则是技术条件中所规定的气缸套质量指标中的主要内容。而 t_p 、C、Si, 以及 ΔT_L 、加入的变质剂数量和牌号、微合金化 Sn 的重要性则比较小。

表 1 从输入变量和输出变量的秩归纳出最重要的因素

| 因素 | C | Si | Mn | Sn | t_p | ΔT_L | Φ | HB | Γ_{Δ} | Γ |
|----|------|------|------|------|-------|--------------|--------|------|-------------------|----------|
| 秩 | 1.15 | 0.91 | 0.74 | 0.43 | 1.57 | 0.61 | 2.24 | 3.04 | 0.33 | 0.30 |

在试验情况下,最不重要的是 Γ 和 Γ_{Δ} , 因在验收产品时对它们不作检验,也不作为报废的依据。由于某种原因情况有变化时,优先系统必须修正成对比较的矩阵和计算变量的新秩值,与修正的期望函数一起,这样就能在实际条件下,通过引入相应的限制和优先条件非常简单地预测工艺的特点。

适用于所有变化的工艺参数(C, Si, Mn, Sn, M, ΔT_L , t_p)和气缸套毛坯的质量指标(HB、 Φ 、 Γ_{Δ} 、 t_p)的回归模型,以及变量相对排序系数、期望函数是解决要研究的优化课题必需的一整套原始数据。

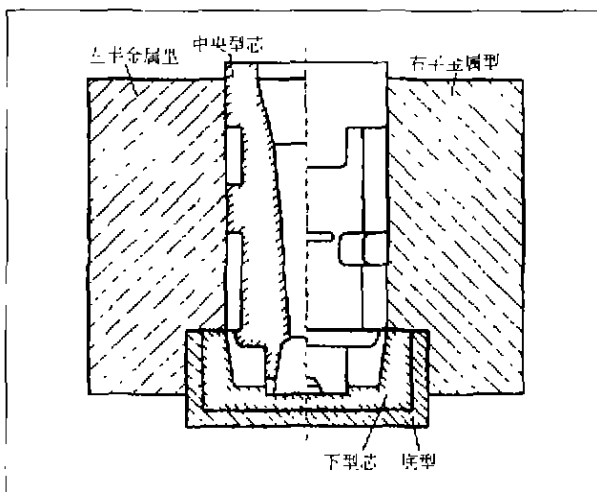


图 1 铸造船用柴油机气缸套毛坯用金属型示意图

所进行的研究表明,在金属型铸造工艺中为保证船用柴油机气缸套毛坯所需质量指标的参数值有着宽广的区间 ($C=3.25\% \sim 3.37\%$; $Si=2.1\% \sim 2.2\%$; $Mn=0.7\% \sim 1.0\%$; $M=0.25\% \sim 0.6\%$; $Sn=0.07\% \sim 0.11\%$; $\Delta T_L=70 \sim 120^\circ\text{C}$; $t_p=5 \sim 8\text{ s}$), 铸铁的化学成分和金属型铸造工艺参数对优化总参数 D 的影响如图 2 所示。从图中可见,在最佳化学范围内气缸套整个质量指标的符合程度要较其它的因素取值点明显地好,其它取值点中包括实验取值

范围的中点。

有趣的是在该项试验情况下变质处理时较好的变质剂是由 40%~100%ΦC75 和 60%~0%CB20 组成的混合物(占铁水质量的 0.6%),而不是某一

种单独的变质剂。若微合金化元素 Sn 从经济、生态或工艺观点看不适宜使用时,则可在铁水中加入数量超过 Sn 最佳剂量 3 倍的 Cu 或 Ni 来代替,也能成功。

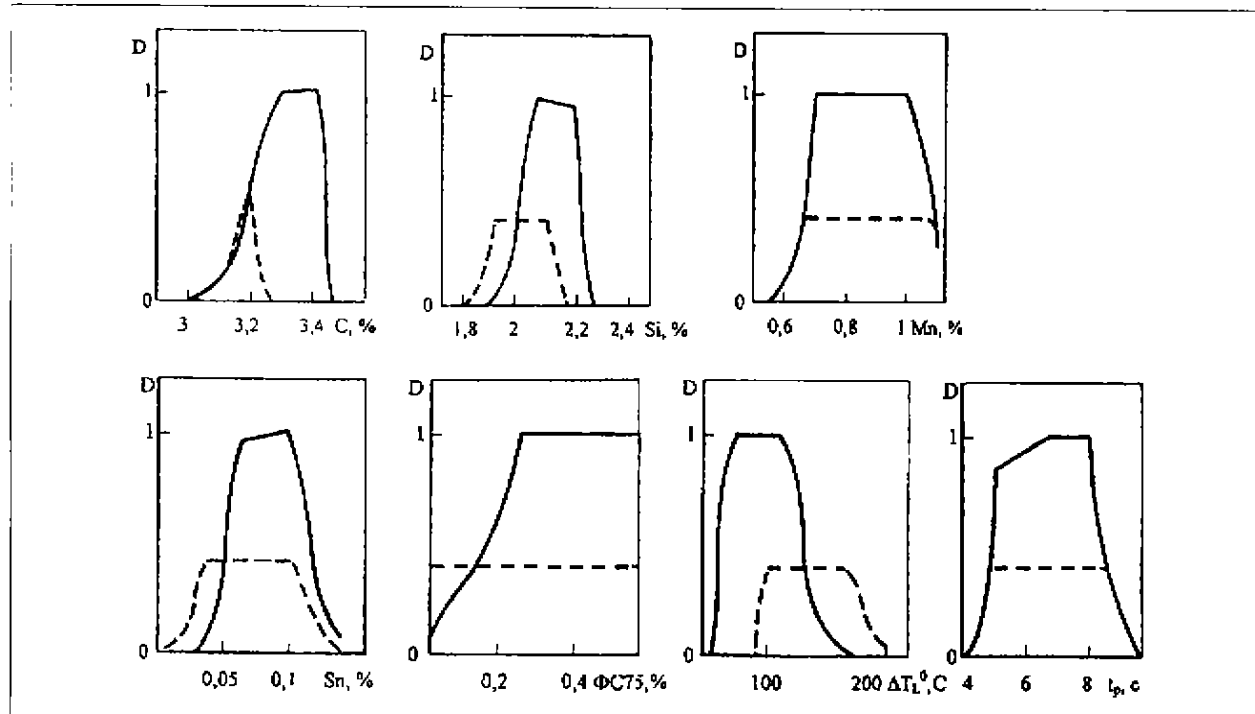


图2 在实验区域的中心(虚线)和最佳值内(实线)汇总质量准则与输入变量的关系图

类似方法已用于优化金属型铸造的 CM114、CM160 和 Kam A3 740 气缸套毛坯的工艺。对比求出的最佳值区域的坐标表明,它们与铸件的主要化学成分参数十分吻合。其中包括,为了获得所要求的气缸套的性能,必须保证下列水平的化学成份(%)及工艺参数: $C-3.2\sim 3.3$; $Si-2.1\sim 2.2$; $Mn-0.7\sim 0.9$ 。在 $T_{\text{熔}}=1200\sim 1330^{\circ}\text{C}$ 时 $\Sigma(Cu+Ni)-0.4\sim 0.5$; $T_{\text{退}}=250\sim 280^{\circ}\text{C}$ 。引入人工气隙的最佳时间 $t_p=5\sim 9\text{ s}$ 。

在检查铸铁的化学成分和金属型铸造工艺的主要参数时,将生产过程保持在求出的最佳值区域内不应该有什么困难。但是,实际上并不总是可能做到这一点的。在这样的条件下,带人工气隙的用金属型铸造灰铸铁气缸套毛坯的主要问题,是在达到所需的各项性能要求的同时,可靠地预防白口的出现,这在最佳值区域内是可以自动地实现的。

为了进行作业检查和修正铸造工艺,可成功地采用如白口工艺试样那样的既简单又有效的措施。在金属型铸造传统的做法中,应用最广泛的是用型

芯,其中包括冷硬型芯浇注的试样。在灰铸铁铸造时,一般情况下可观察到 4 个特征区域:纯白口 h_1 和一般白口 h_0 ,带暗影的区域 h_2 ,接着是带颗粒状光亮断口的区域。

作者试图利用白口试样来预测白口铸铁的 I 阶段石墨化的持续时间。早先的资料曾获得过铸铁凝固后立即进行退火情况下共晶渗碳体等温石墨化(在 1100°C 时)的持续时间关系。石墨化退火前不预冷到低温的条件,在带人工气隙的金属型铸造时,如较早打箱和在某些特种金属型铸造时是可以满足的。上述关系可用二级回归多项式形式表达:

$$\ln t_0 = f_1(C, Si, Cr, M, T_{\text{熔}}, T_{\text{退}}) \quad (5)$$

式中: t_0 —I 阶段石墨化的持续时间 s。

通过补充试验可求得以一级多项式关系表达的 t_0 与白口试样断口内的特征组织区域长度之间的关系:

$$\ln t_0 = 6.55 - 0.29(h_2 - h_0) \quad (6)$$

按式(6)计算的 t_0 值与实验值的相对偏差 $\leq 23\%$ 。为了按白口试样的浇注结果修正金属型铸造

工艺的参数,必须知道 (h_a-h_o) 与铸铁化学成分和铸造规范之间的关系。在10%显著性水平时相应的关系式如下式:

$$h_a-h_o=9.1-3.6C+3.6Si-10.4Cr+2.1\cdot 10^{-2}\Delta T_L \quad (7)$$

计算值与试验值的偏差 $\leq 25\%$ (绝对值为1.5 mm),从而与评估精度 h_a 、 h_o 、 h_H 相适应。所研究的金属型铸造工艺可按下列程序实施。对最佳值区域,按式(5)根据消除白口的条件评估铸件在热处理室内必须保持的时间,再按式(7)求出相应的值 (h_H-h_o) 。

将求出的白口试样的检验特征值与在铸造气缸套过程中定期浇注试样时获得的结果比较。当铸造工艺参数与规定值有偏差时,利用式(7)进行修正。

同时,按式(6)精确修正铸件在直通式热处理室

内的保持时间。必须强调,为获得可以通过的结果,白口试样的浇注条件必须尽可能保持不变,并且应这样来选取,要使在过程参数的所有变化范围内,在试样断口内总可清晰地观察到上述4个特征组织区。若不能满足这些条件,则白口试样不能用来预测游离渗碳体的石墨化持续时间,以及用来修正金属型铸造的工艺参数。

所获得的结果证实,在开发金属型铸造具有给定性能的灰铸铁气缸套毛坯的工艺过程时,利用多判据优化法有极好的效果。可用白口试样来修正工艺参数。

译自俄罗斯《Литейное Производство》1999, №9, 24~27

李良福 译 宋忠明 校

收稿日期:2000-10-21

(上接第7页)

车辆最高速度为200 km/h。

(2)由于各个轴箱发热状况不同,因此,事先先检测出各个轴箱的正常温度,然后设定出各个轴箱正常温度的上、下限值(自动设定)。

(3)当测出的车辆轴箱温度低于下限(运行开始不久时除外)或超过上限时,都判定为异常,并发出警报。另外,还能输出指定轴箱历年的温度资料。

3.6 车辆外观检查装置

(1)为了拍摄车辆的外观,在地面上安装多台工业电视机(ITV)摄像机和照明(参见图10)设备。

(2)当车辆进入相应的检查装置时,即用编号读取装置读出车辆编号,并自动识别检查对象,自动摄下车辆前、后、侧面、顶棚、地板下等外貌。

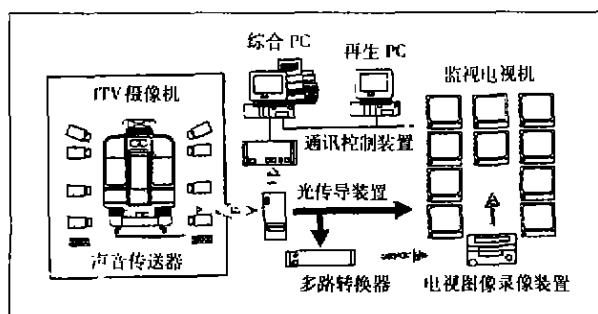


图10 车辆外观检查装置

在车辆两侧安装ITV摄像机,声音传送器和照明设备,当车辆受检部位通过时摄下图像,并利用再生PC,设定再生模式,然后在监视电视机上显示出检查部位的影像。

(3)利用再生个人计算机(PC)设定的再生控制图像,同时搜索被检车辆,再现车辆两侧侧面的图像和运行噪声,并对动图像/静图像/音程进行传输选择,进而利用部位搜索模式,依次从车辆数据库里搜索受电弓、室外空调机、交换器、压缩机等部位。图11示出地板下静止图像传送的再生图像。

(4)这个装置利用计算机自动地对复杂、宽域的车辆外观影像进行摄像、保存、搜索,消除了过去即使委托检查人员也无法判定是否良好的缺陷。

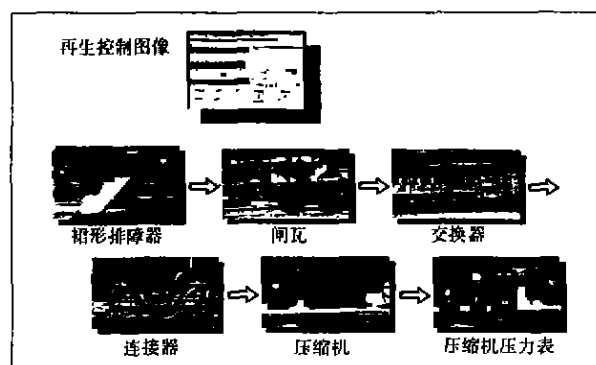


图11 再生显示图像的实例

在再生PC的再生控制图像上表示出设定的再生图像。这里显示的是将地板下各检查部位的静止图像按箭头方向转换成监视TV图像。

译自日本《东芝レビエ》2000, №9, 40~43

蔡千华 译 姚懋许 校

收稿日期:2001-03-21