DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2020.04.007

大型液压模锻机锤身铸造工艺设计

郑建斌
(福建兴航机械铸造有限公司,福建 长乐 350207)

摘　要:针对大型液压模锻机锤身的使用要求,根据其使用要求、结构特点和安全使用寿命,从铸造工艺中的圆角、拉筋、冷铁、浇注、补浇及热切割冒口等方面进行合理设计,并通过 CAE 凝固模拟进行了工艺优化。结果表明,成功完成了特大重量、特厚大件、特高尺寸锤身铸钢件铸造生产,锤身内外品质得到了保证。

关键词:锤身;铸造工艺;凝固模拟

中图分类号: TG269　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2020)04-0334-05

Casting Methoding for Hammer Body of Large-Scale Hydraulic Die-forging Machine

ZHENG Jianbin
(Fujian Xinghang Machinery Casting Co., Ltd., Changle 350207, China)

Abstract: According to the application, service life and safety requirements and structure of Hammer Body of Large-Scale Hydraulic Die-forging Machine, casting methoding was designed including optimized gating and risering system, hot riser, adding fillet, chills, using core chaplets, hot topping. By using CAE solidification simulation, the super large and heavy steel hammer body castings are successfully cast, the internal and external quality meets customer demand.

Key words: hammer body; casting technique; solidification simulation

公司首次接到某锻压设备厂家大型液压模锻机锤身铸件订单,该模锻机为型号 CHK125,此型号整机系出口机型。锤身铸件结构虽然简单,但其是模锻压机上关键部件。锤身在使用过程中需要承受频繁的冲击力量,锤头质量 8 400 kg,最大打击能量达 230 kJ,而且打击频率每分钟高达 70 次,因此对锤身铸件的质量要求较高,不允许出现缩孔、缩松、裂纹等质量问题。

1　铸件技术要求

1.1　铸件简图、化学成分及力学性能

锤身基本结构简图见图 1,外形轮廓尺寸 3 400 mm×2 500 mm×4 450 mm,材质为 ZG270-500,毛重约 106 t。

主要化学成分要求见表 1, 主要力学性能见表2。

图 1 锤身简图
Fig.1 Schematic diagram of hammer body

表1 主要化学成分 w(%)
Tab.1 Main chemical compositions

C	Si	Mn	P	S
≤0.40	≤0.50	≤0.90	≤0.035	≤0.035

表 2 主要力学性能
Tab.2 Main mechanical properties

屈服强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	断后伸长率 (%)	断面收缩率 (%)	冲击吸收功 /J
270	500	18	25	22

1.2　主要技术要求

(1)铸钢件应符合标准 JB/T 5000.6-2007《重型机械通用技术条件第 6 部分:铸钢件》的规定。

(2)铸钢件尺寸公差按照 GB/T 6414-1999 中

收稿日期:2020-02-18
基金项目:福建省福州市科技局市校(院所)科技合作基金资助项目(2018-G-51)
作者简介:郑建斌(1968-),福建福州人,学士,高级工程师.主要从事铸造工艺方面的工作.电话:15880172908,E-mail:smyhzjb@163.com

CT13 级,确保有足够的加工余量。

(3)铸钢件不得有影响使用的铸造缺陷,如缩孔、缩松、裂纹等。

(4)铸钢件应进行整体退火热处理,完全消除铸造应力。

(5)铸件整体应符合标准 JB/T 5000.14-2007《重型机械通用技术条件第 14 部分:铸钢件无损检测》超声波 3 级、磁粉 3 级的规定。

2 铸造工艺的设计

2.1 工艺难点分析

该液压模锻机锤身铸件具有“三特”的显著特点。

一是铸件重量特别重:①钢液需要量达 150 t 以上,对公司现有的熔炼设备是一个大的挑战,生产组织存在一定难度;②浇注钢液量大,对铸型的热作用强,铸型的耐火度要求高。

二是铸件断面尺寸特别厚大:①断面尺寸厚大,凝固区域宽,线收缩大,再加上凝固温度场不均匀,铸造生产过程中容易产生缩孔、缩松、裂纹、偏析等铸造缺陷;②浇注时钢液对铸型的热作用不仅强烈,而且持续时间长,要求造型材料必须有良好的高温强度。

三是铸件高度特别高:①铸件高度高,带来浇注静压力头和动压力头都大,容易出现跑火等问题;②铸件高度高,对铸型的压力大,要求铸型必须有足够的抗压能力。

2.2 确定浇注位置及分型分模面

浇注位置的确定是铸造工艺设计的重要环节,关系到铸件内在质量及尺寸精度。在综合分析了锤身的结构特点、技术要求及我们公司现场生产实际情况,选取锤身大面朝上、放置 1 个大冒口的分层分型的工艺方案,选择阶梯浇注。这种方案既有利于形成较好的顺序凝固,也有利于大冒口对铸件的有效补缩,保证铸件致密度。锤身分型分模简图见图 2。

2.3 确定工艺参数

(1)铸造收缩率 铸件的铸造收缩率包括自由收缩和受阻收缩,一般铸件大都是受阻收缩,铸件的收缩率不仅与铸件的材质、结构特点、造型材料有关,还与铸件各部分在凝固过程中所遇到的受阻情况有着密切的关系[1]。锤身 U 形窗口区域长、宽、高 3 个方向收缩均受到一定阻碍,收缩率选为 1.8%,而其它方向收缩阻力较小,近于自由收缩,收缩率选为 2.0%。

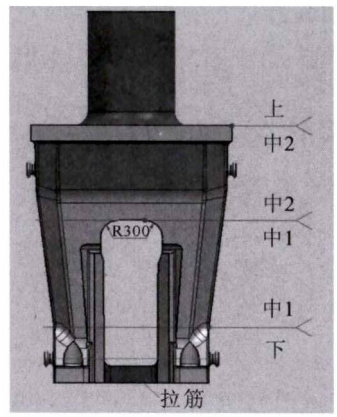

图 2 锤身分型分模简图
Fig.2 Parting lines of hammer body

(2)加工余量 依照 GB1464-98 标准 CT14 级公差要求,结合大型铸件轮廓尺寸大,生产中因各种操作因素的影响,易导致铸件变形造成尺寸偏差,同时考虑大型铸件上表面可能存在较多夹渣、夹砂等铸造缺陷,故将上表面加工余量适当加大些,定为 35 mm,其余部位定为 25 mm。

(3)铸造圆角 在锤身 U 形底部,两支脚与底座部位截面壁厚大小过于悬殊,凝固收缩时易产生裂纹等缺陷,通过采用加大铸造圆角的方法可以有效解决。综合考虑,设置此处的圆角 R300 mm。见图2。

(4)拉筋 锤身系典型的 U 形结构,在冷却过程中会因收缩而引起变形,设置拉筋防止其变形。拉筋应在热处理后割除,以免热处理过程中又产生变形。通过设置矩形拉筋,矩形截面尺寸 200 mm×300 mm,可有效防止此处的变形。见图 2。

2.4 浇注系统设计

大型铸钢件因其轮廓尺寸大、壁厚尺寸大或其热节厚大,若加之其铸件的浇注系统设计不合理,使钢液进入型腔后的温度梯度达不到上高下低的良性状态,则影响冒口对铸件的有效补缩[2]。而且大型铸钢件的钢液浇量大,易产生氧化夹渣物,若钢液充填铸型时不平稳或断流,就更易产生氧化夹渣、气孔、冷隔等缺陷。由此,浇注系统应该具有平稳及较快地充填功能。因此浇注系统是大型铸钢件工艺设计的重点环节,直接影响铸件质量。

锤身的浇注位置较高,其浇注系统结构形式,设计阶梯式浇注系统,同时在阶梯式进液的基础上再结合分层处理进液为最佳。由此,可使得铸件型腔建立上高下低的良性温度场和理想的凝固条件,达到获得致密铸件的目的[2]。

冒口部分的钢液由冒口系统作为“浇注系统”进入至冒口的最高面。由此,可实现其良好地合理地分层进液,冒口部分可获得良好的“高温”钢液,可对铸

件的液态冷却收缩进行有效地补缩[2]。

选择开放式浇注系统，采用 3 个漏底浇包同时浇注工艺。

漏底包选用 ϕ100 mm 注口砖，根据开放式浇注系统原则，浇注系统各组元断面积的比例大体采用(1)式比例[1]：

$$\Sigma F_{包}:\Sigma F_{直}:\Sigma F_{横}:\Sigma F_{内}=1:(1.8\sim2.0):(1.8\sim2.0):(2.0\sim2.5) \quad (1)$$

式中，$\Sigma F_{包}$包孔的总截面积，cm²；$\Sigma F_{直}$直浇道的总截面积，cm²；$\Sigma F_{横}$横浇道的总截面积，cm²；$\Sigma F_{内}$内浇道的总截面积，cm²。

因此，直浇道选用内径 ϕ140 mm 耐火陶瓷管，横浇道选用内径 ϕ140 mm 耐火陶瓷管，内浇道选用 ϕ140 mm 耐火陶瓷管。

浇注时间 t 与钢液上升速度 V_L 的验算[1]：

$$t=\frac{G}{NnV_{包}}=\frac{155\,000}{3\times1\times195}=265(\mathrm{s}) \quad (2)$$

式中，G 型腔内的钢液总重量，kg；N 同时浇注的浇包数量，个；n 每个浇包的包孔数，个；$V_{包}$钢液的浇注重量速度，kg/s。

$$V_L=\frac{G}{t}=\frac{4\,510}{265}=17.01\ \mathrm{mm/s} \quad (3)$$

式中，C 铸件在浇注位置的高度，mm。

经核算，这样的浇注系统，能够保证充型快速、平稳、顺畅，有利于夹杂物等杂质的上浮，充满型腔的时间较为适宜，能获得轮廓完整、清晰的铸件[1]。浇注系统工艺可见图 3。

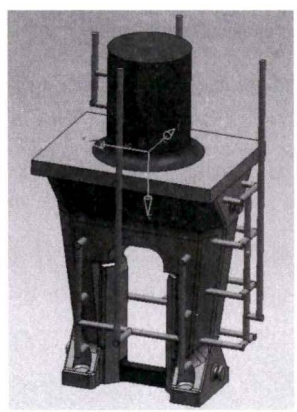

图 3 锤身浇注系统及补浇系统
Fig.3 Gating system and hot topping

2.5 冒口的设计

由于大型铸钢件的钢液浇注量大，体收缩大，钢液的液态冷却收缩量及其需要补缩的量也相应较大，所以冒口系统应当优先选用补缩能力强的顶冒口，而且尽量减少冒口个数。分析锤身的结构特点，确定铸件的凝固方式为顺序凝固，根据铸件的质量要求，工艺冒口设计在铸件上部设置一大冒口，选择明保温冒口形式为宜。

冒口计算方法采用模数法进行计算，具体的计算方法如下[1]：

冒口的选取如下：

$$M_{件}=\frac{A\times B}{2\times(A+B-C)}=58.96\ \mathrm{cm} \quad (4)$$

$$M_{冒}=f\times M_{件}=1.1\times58.96=64.86(\mathrm{cm}) \quad (5)$$

式中，$M_{件}$铸件模数，cm；$M_{冒}$冒口模数；cm；f 冒口扩大系数。

考虑还将使用内冷铁和补浇冒口的综合工艺方案配合冒口进行补缩，防止冒口缩裂区延伸到铸件表面及本体。冒口的有效浇注高度还应充分考虑实际生产过程中能否保证浇注工艺中要求的补浇冒口的实践。同时综合考虑企业熔炼设备极限，因此冒口扩大系数 f 取 1.1。

冒口尺寸：ϕ1 500 mm×2 000 mm；数量：1 个。

计算主索鞍底座铸件工艺出品率：

$$工艺出品率=\frac{铸件重}{铸件重+冒口重+浇注系统重}\times100\%=68.4\% \quad (6)$$

从计算结果来看，对于锤身类厚大断面铸件既设计了内冷铁工艺，又采用补浇冒口的综合补缩的工艺方案，此工艺出品率符合大型铸钢件生产的要求。锤身冒口工艺设计如图 2。

2.6 内冷铁的应用

2.6.1 大型铸件放置内冷铁优缺点

(1)优点 ①内冷铁可以防止厚大件胀砂、缩松、粘砂等缺陷产生，可以细化晶粒，减少铸造应力，对厚大铸件品质控制非常有益；②内冷铁可以减少冒口尺寸，减少浇注钢液量，可以帮助我们突破生产条件和工序能力的限制；③内冷铁的合理设计，能有效提高铸件的工艺出品率，可获得致密的铸件，降低铸件的生产成本[3]。

(2)缺点 ①内冷铁的放置将影响钢液的浮砂能力，放内冷铁后砂子也不易被抽干净。因此在放内冷铁前一定将砂子抽净，合箱时尽量防止砂子掉入型腔[3]；②放置内冷铁的型腔需及时浇注，放置时间太长会导致内冷铁再次生锈。

2.6.2 内冷铁设计

(1)从加强锤身的顺序凝固增加铸件致密度的角度出发，同时也为了减少钢液在铸型中的凝固时间，在型腔放入适量的内冷铁。同时内冷铁的合理设计，可有效减少铸件补缩冒口尺寸，提高钢液利用率，提高铸造工艺出品率。

由于锤身为厚大截面铸件，有利于内冷铁的融合，但铸件又要求进行 3 级探伤检测，因此综合考

虑，设计内冷铁重量占铸件的重量的4%左右的比例分数较为合适;根据内冷铁熔合的原则,选用直径为20 mm的螺纹钢;内冷铁材质选用低碳钢[3]。

(2)内冷铁设计时按照自上而下逐渐加密,层间距为零的设计原则进行设计。这样既方便焊接,保证焊接质量，又能使铸件形成良好的顺序凝固,加速铸件冷却和凝固速度，有效提高铸件内在质量,避免缩孔、缩松及裂纹的产生[4]。

(3)内冷铁采用格栅架状,焊成随形,间距取50～80 mm;内冷铁应设置合理的冷铁脚,保证冷铁稳固；同时保持距型壁一定距离，一般应大于100 mm，避免太靠近型壁造成内冷铁熔合不良。内冷铁位置在型腔位置要求避开超声波探伤部位要求高的U形区域。内冷铁形状及安放见图4。

2.7　补浇冒口工艺措施

(1)大型铸钢件的冒口尺寸很大,为提高补缩效果,减轻对砂型的压力和预防浇注时跑火,在正常生产的情况下,应选择补浇冒口。合理的浇注及补浇工艺,能在冒口尺寸较小的条件下,延长冒口的凝固时间,因而提高冒口的补缩效率;能减轻砂型压力,预防浇注时跑火;实行多次补浇能大大提高铸件收得率[2]。

(2)厚大截面铸件的冒口不仅具有补缩作用,同时对铸件的质量有较大影响。大冒口设计易引起铸件化学成分的偏析,偏析不仅会引起机械性能的不均匀性,而且易造成冒口下铸件的裂纹缺陷。

补浇的钢液宜选用低碳、低磷硫的高质量的钢液,这样可以大大改善冒口根部的偏析,

有利于提高铸件质量。冒口补浇方案:浇注锤身铸件所需总钢液量约为155 t,根据我司熔炼设备现状,需多炉同时熔炼,浇注温度1 550~1 560 ℃,浇注时3个钢注液包同时浇注，钢液上升到铸件最高点300 mm左右时停浇,改从专用浇口补浇冒口(见图3)。一般专用浇道的断面积约为包孔断面积的1.8～2.0倍。

按工艺间隔一定时间从补浇冒口专用系统中进行第二次补浇冒口至工艺规定高度，再间隔一定时间从补浇冒口至工艺规定高度。铸件浇注和补浇冒口后及时覆盖保温剂,以绝热保温,减少冒口热量散失,防止结壳搭桥,提高冒口的补缩效率。

2.8　CAE技术验证

大型铸钢件一般为小批量甚至单件生产，传统的“试错法”不适应大型铸钢件生产要求,需要应用CAE仿真技术来优化大型铸钢件的工艺设计,对铸造全过程进行模拟，直观展示铸件凝固过程可能存在的铸造缺陷，针对性采取工艺措施或调整工艺方案，不断对工艺进行设计优化，大幅度提升铸件品质。而且通过CAE技术广泛应用,大大缩短新产品开发周期,降低了新产品开发成本,满足客户苛刻质量要求。

工艺方案及各项工艺参数确定后,运用CAE模拟软件,添加冒口、内冷铁等进行网格剖分,输入造型材料、铸件材质及浇注温度等热物性参数,对该工艺进行了铸件凝固模拟，按标准超声波三级探伤要求预测铸件内部组织的致密性，最终模拟显示铸件顺序凝固的特性较明显，且钢液凝固后的缩孔集中出现于冒口内(见图5)。模拟显示:铸件内部无缩孔、缩松缺陷。

模拟结果表明：设计的冒口对铸件的补缩是足够的,能保证锤身铸件组织致密,也验证了冒口尺寸

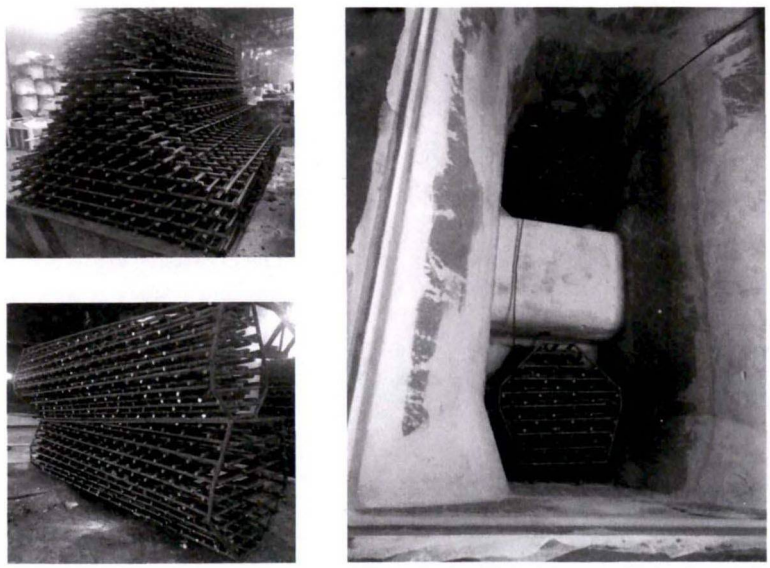

图4　冷铁及其放置
Fig.4　Internal chill and placement

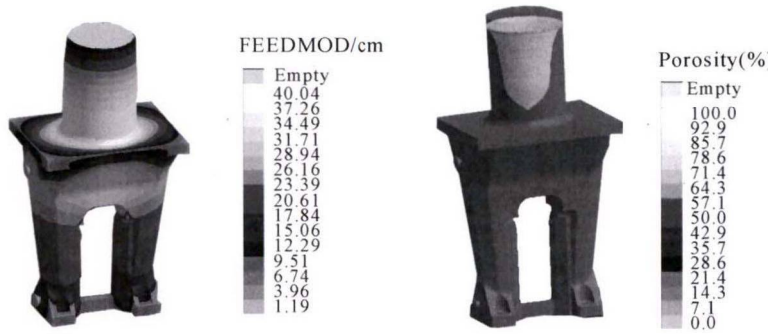

图 5 凝固模拟显示锤身没有缩孔缩松缺陷
Fig.5 Solidification simulation shown no shrinkage defects in the hammer casting

和数量的选择是可靠的。

2.9 热切割冒口工艺

厚大截面铸件的冒口切割时在冒口下极易产生裂纹,产生原因:

(1)是冒口下铸件部分存在缩松缺陷。缩松若进入了铸件,铸件开裂可能性非常大,而且一旦存在裂纹极难修复。

(2)是切割大冒口过程存在较大内应力。越是含碳量高或者合金含量高的铸钢、越是大的冒口,切割过程内应力越大,越易产生裂纹。

(3)是冒口根部存在碳、磷、硫的偏析,内部金属塑性剧烈降低,裂纹的产生与偏析有关。气割时在热应力的作用下极易导致裂纹。

因此,防止冒口下端铸件部位的裂纹的方法是要设法缩孔尾端上移、减轻偏析、增加冒口内金属的致密性、减小切割冒口过程的内应力[5]。

热切割冒口要根据材质、大小、形状、决定预热温度切割冒口,或者直接退火后切割。

根据锤身材质,结合企业实际,我们采用了铸件冷却后,利用其余热,热切割冒口工艺。冒口切割温度控制不得低于 200 ℃, 切割过程不得吹风,不能急冷。要求一次切割完毕。冒口切割后,有条件的话铸件最好及时装炉进行热处理。若不具备条件,可将冒口置于在铸件上,不急于吊走,同时做好铸件及冒口周围保温。切割冒口后铸件见图 6。

图 6 火焰切割冒口
Fig.6 Torch cutting of riser from hammer body

3 结语

(1)铸件清理后,表面光洁平整,几何轮廓清晰完整,无胀箱等缺陷,经检验,达到了预期的目标:铸件组织致密、无铸造缺陷;化学成份、力学性能检测也符合技术要求;粗加工和表面精整后作超声波及磁粉探伤检测,达到 3 级产品技术要求。

(2)对于高度高的大型铸钢件,浇注系统设计十分重要,选择缓冲阶梯式浇注系统,既保证钢液平稳地进入铸型,减少浇注时的动压力和静压力,还可以防止上层内浇道过早进的进钢水。

(3)厚大铸钢件在放置内冷铁的同时,往往配合使用在铸件浇注一定时间后往冒口中补浇钢液的工艺,增加冒口凝固时间,此工艺方法可以有效提高铸件的工艺出口率、保证质量、降低生产成本。大冒口的切割采用热处理后或利用余热方式热切割冒口。铸造工艺方案制定过程,可配合 CAE 模拟技术进行工艺优化及验证。

(4)通过该型号锤身铸件的成功生产,不仅探索出了此类“三高”铸件的工艺设计经验,而且很好满足了客户要求,客户陆续追加了其它型号锤身订单,我司也很好完成了任务。

参考文献:

[1] 中国机械工程学会铸造专业学会 铸造手册第五卷,铸造工艺[M]. 北京: 机械工业出版社, 1994.

[2] 刘文川. 大型铸钢件铸造工艺的优化设计 // 第十二届全国铸造年会暨 2011 中国铸造活动周论文集【C]. 北京:中国铸造协会, 2011:346-347.

[3] 凌云飞,胡昌军. 内冷铁在厚大铸钢件上的应用[J]. 中国铸造装备与技术, 2010(2):36.

[4] 贾秀梅,孟慧洲,张德刚,等. 48 t 砧座铸造工艺的研究与应用. 金属加工(热加工), 2014(13):20.

[5] 第一重型机器厂、哈尔滨工业大学.大型铸钢件生产[M]. 哈尔滨:哈尔滨人民出版社, 1979.