

静压造型高密度湿型粘土砂的研制 及特种车辆高锰钢履带板的生产实践

武玉平, 周建军, 苏雅拉图, 薛立春, 陈志军, 赵学林, 杨清

(内蒙古第一机械集团有限公司第十分公司, 内蒙古 包头 014032)

摘要: 静压造型作为一种先进、高效近无余量“精、净”砂型铸造成型装备技术, 具有生产效率高、型硬度高(均匀)、成型性好、压实时间短、噪音低的特点; 其造型用湿型粘土砂具有原材料资源广、成本低, 且具有旧砂回用率高、排放少和环境污染小的优点。笔者针对高锰钢履带板静压造型铸造成型工艺存在的问题和高密度湿型粘土砂工艺的局限性, 结合高锰钢材质的冶金特性和力学性能, 以及特种车辆高锰钢履带板的特殊性, 对静压造型高密度湿型粘土砂进行了工艺研制, 研制出适合静压造型成型方式生产特种车辆高锰钢履带板的高密度湿型粘土砂工艺, 并在生产上得到了良好的应用, 显著提高了特种车辆高锰钢履带板的质量, 取得了较大的经济技术效益。

关键词: 铸造; 静压造型; 高密度湿型粘土砂

内蒙古一机集团为提高特种车辆批生产能力, 在“十一·五”期间对特种车辆生产线进行了一系列的技术改造, 高锰钢履带板静压造型自动化铸造生产线作为特种车辆产品批生产技改项目的专项列支项目, 其改造的核心就是将原半机械化造型改造升级为自动化静压造型, 以提高特种车辆高锰钢履带板的生产效率、产能和产品质量, 并达到淘汰落后工艺、节能减排和环保的目的。

静压造型技术目前在国内外铸铁生产中应用非常成熟, 但在国内铸钢生产方面的应用还没有先例, 国外也没有成熟的技术和可靠的生产工艺, 也没有真正的工业化生产应用。高锰钢履带板作为特种车辆的主要行走关键部件, 苛刻的工况, 特殊材质、结构工艺和技术条件, 进一步增加了高锰钢履带板静压造型铸造成型的技术难度, 高锰钢履带板静压造型铸造成型国内外有关技术文献和专利尚未见报道和公布。

1 静压造型铸造装备成型技术概述

静压造型技术属于高压造型的范畴, 是在克服了气冲造型许多缺点的基础上发展起来的砂型铸造成型技术, 其本质上是“气流预紧实+多触头补压”成型工艺, 因此起到了预先紧实效果, 然后再由感应多触头压实, 保证不同深度型腔的砂型紧实度分布均匀, 集中了气冲造型和高压多触头造型的优点。由于气流预紧实时, 空气引起的砂流可极大地改善型砂的充填性能而又不会产生边角地带气体富积现象, 可得到棱角轮廓清晰的铸件, 与其他湿型粘土砂造型工艺手段相比, 具有生产效率高, 砂型硬度高且均匀、起模性能好、成型性好、噪音低、压实时间短的优点。特别对型腔深度大、窄的砂型具有优越的造型性能, 降低砂型废品率, 并可有效减小铸件的拨模斜度和铸件加工余量, 提高了铸件的尺寸轮廓精度, 降低了表面粗糙度、铸件的清理生产成本和后续机加成本, 是一种高效的近无余量的“精、净”形砂型铸造成型技术, 铸件尺寸精度可达 CT6~CT8 级, 表面粗糙度在 $Ra12.5 \sim 25 \mu m$ 。同时静压造型的湿型粘土砂工艺原材料资源丰富, 价格低廉, 无味、无毒; 旧砂回收利用率高、废砂排放少, 在目前及今后相当长的时间仍为一种最先进的湿型粘土砂造型工艺。

作者简介: 武玉平, 男, 高级工程师, 从事铸造型砂技术工作, E-mail:wuyuping5639678@163.com。

1.1 高锰钢履带板静压造型技术装备及生产线简介

高锰钢履带板静压造型技术装备型号：EFA-SD4 型带转台和多触头挤压装置的自动静压造型机，结构见图 1。

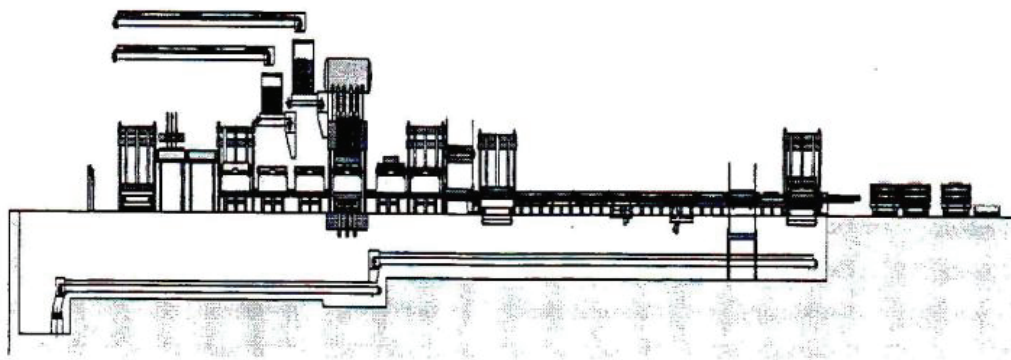


图 1 自动静压造型结构

1.1.1 高锰钢履带板静压造型生产线工艺流程

高锰钢履带板静压造型自动化铸造生产线主要设备为：静压造型技术装备、液压泵站、捅箱机、分箱机、落砂机、铣浇口机、造型输送系统、液压控制系统、电控系统。工艺流程见图 2。

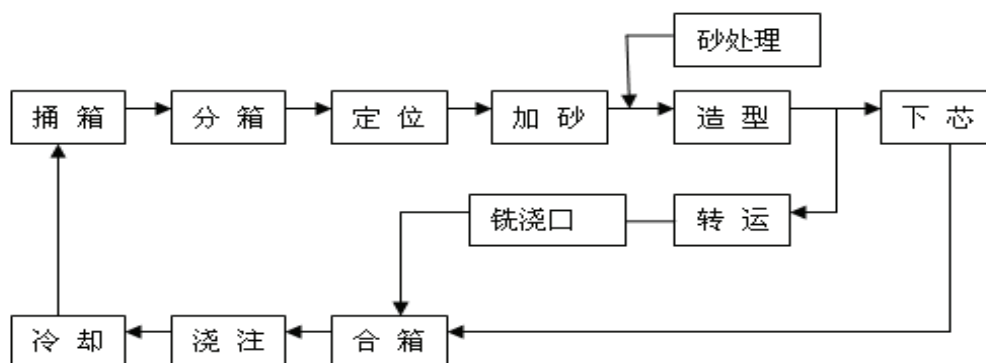


图 2 工艺流程图

1.1.2 静压造型技术装备及高锰钢履带板静压造型生产线主要技术参数

工作压力：5.5~6.5bar；紧实力：0.2MPa~1.2MPa，造型线液压泵站的油温为 20~50℃，油压为 9~11MPa，压缩空气压力：0.5~0.55MPa，错箱量≤0.2mm；分型面平均硬度≥90GF、型腔水平面平均硬度≥90GF、型腔垂直面平均硬度≥85GF，同一砂型表面硬度偏差≤±5GF，最小拔模斜度 0.5°，废型率≤1%，刮砂后砂型背面无凹陷，平面度≤3mm。

1.2 静压造型高密度湿型粘土砂简介

湿型粘土砂的基本组分为砂粒（新砂、旧砂）、膨润土、溶凝质、金属微粒、水和附加材料等成分。单一的膨润土不能粘结砂粒，只有膨润土和水按一定的比例才能构成了湿型粘土砂的粘结剂。高密度湿型粘土砂是高压造型（高压造型）湿型粘土砂衍生出的一种新的“砂种”，是一种非常复杂的散体材料，其中气、液、固三相共存，兼有弹性、粘性和塑性。

湿型粘土砂的水土比直接影响其强度，如果按粘土（膨润土）和水在型砂中所占的份额，将粘土（膨润土）和水单独混合，得到的是粘稠的膏状体，按土质学方面对粘土-水混合物属于“半固态”范围，实际上型砂中将砂粒粘结起来的是这种“膏状物”，称为粘土膏。粘土膏的水分增多，其粘度随之降低，强度也相应下降。型砂中的水土比在 1:3 较为合适。

目前高密度湿型粘土砂都是膨润土，水和膨润土混制成的膨润土膏，其水土比也遵循 1:3 的规律。在这种条件下，型砂的紧实率最适合静压造型。

静压造型是高密度造型（高压造型）手段之一，要求型砂的工艺性能除了具备常规湿型粘土砂合理的透气率、湿态强度、水分和可塑性，良好退让性、流动性和可紧实性，较高的耐热性和热湿拉强度，较低的发气性，良好的复用性和稳定性外，还应遵循静压造型特点对湿型粘土砂的所要求独特的工艺性能，即高密度湿型粘土砂的工艺性能。对高锰钢履带板静压造型铸造成型而言，在此基础上还应综合考虑高锰钢材质的冶金特性和力学性能、特种车辆高锰钢履带板的特殊性，才能生产出合格铸件。由于高锰钢履带板静压造型高密度湿型粘土砂的要求比其他造型方式要求更加苛刻，因此其工艺制备和质量控制技术难度高、技术跨度大。

1.3 高锰钢履带板静压造型铸造成型存在的问题

静压造型较高的压实比压一方面导致了砂粒密集、砂型排气不畅，尤其是箱式结构的砂箱四周密封，浇注时型腔内的气体无法从砂箱四周排出，只有顶面的排出路径，进一步增加了气阻，进而增加了铸件气孔（冷隔）倾向；另一方面也使砂型退让困难，阻碍铸件的自由收缩，铸件易产生裂纹缺陷，对铸造收缩率较小的铸铁件无妨，但对于收缩率较大、气孔和裂纹倾向大的铸钢材质特别是高锰钢材质问题尤为突出。同时也增加了落砂的难度，旧砂不易再生、回收率低。

高锰钢的的奥氏体晶体结构，导致了其不导磁性质，磁选是非常困难的，使得旧砂中“漏网”的小气眼针、铁豆等金属微粒与旧砂成为“共生体”，这些分布在型砂中的金属微粒一方面割裂了型砂的连续性，影响型砂的强度，另一方面当金属微粒分布在砂型表面时相当于弥散性外冷铁，影响铸件的正常结晶及晶粒的大小；同时分布在型腔表面的金属微粒与钢水接触时产生冷凝水，铸件产生气孔，有时还粘连在铸件表面。这些金属微粒对混砂机和输送皮带都会损伤。

受高锰钢履带板本身的结构工艺和铸造工艺的限定，其气孔（冷隔）、裂纹问题更加恶化。为防止高锰钢履带板气孔、冷隔、裂纹缺陷的产生，采取降低型砂的强度、水分和造型压实比压等措施，但同时也降低了型砂的韧性、造型性能和成型性，导致砂型安定性变差，又产生了新的铸造缺陷——砂眼和掉（冲）砂，而且低的湿态强度补压时不宜紧实，易出现塌箱现象，对模型的损害也是比较严重的。高锰钢履带板气孔、冷隔、裂纹、砂眼和掉砂铸造缺陷成为高锰钢履带板静压造型自动化铸造生产线的技术“瓶颈”，制约着生产线先进技术装备优势的发挥。

2 高密度湿型粘土砂工艺研制

针对高锰钢履带板静压造型铸造成型工艺铸件所产生气孔（冷隔）、裂纹和砂眼（掉砂）等铸造缺陷，结合高锰钢材质的冶金、力学特性，以及特种车辆高锰钢履带板的结构工艺性、铸造工艺性，笔者对静压造型成型的核心关键技术高密度湿型粘土砂进行了工艺研制，重点从高密度湿型粘土砂的原材料组分遴选、工艺配方，以及高密度湿型粘土砂的工艺性能优化、回用旧砂的技术参数确定等方面进行了深入研究，并摸索总结出了高密度湿型粘土砂的工艺特性和其他控制因素的工艺参数。

2.1 高密度湿型粘土砂的原材料组分遴选

原材料选择不当会恶化型砂性能，容易使铸件产生粘砂、气孔、裂纹、砂眼、掉砂等缺陷。因此，合理地选择造型原材料是高密度湿型粘土砂的重要环节。

2.1.1 原砂

原砂的化学成分（ SiO_2 含量）、酸耗值对型砂的湿压强度、透气性、紧实率基本无影响，但原砂的粒度、粒型、粒级分布和含泥量对型砂湿压强度、透气性和紧实率影响较大；对工艺强度影响比较显著；含泥量对工艺强度和透气性影响较大。高密度湿型粘土砂在静压造型的作用下循环使用过程中，由于受机械应力、热应力的作用，而变细小，另一些砂粒受热程度不同而发生应相变，这些变化影响型砂的稳定性。 SiO_2 含量高的原砂耐火度高，具有良好的复用性。考虑到高锰钢的熔化温度和高锰钢履带板的壁厚、热容量，原砂的 SiO_2 含量要求不小于 95%。

静压造型先进行气流预紧实，再进行多触头压实，所以对型砂的流动性有较高的要求，尖角形颗粒表面的流动性差，影响砂型的潜在密度，尖角形颗粒的热破裂更容易造成系统中砂的过度磨损也影响膨润土的消耗，所以原砂颗粒形状选用圆形或椭圆形的。原砂的粒度直接影响透气性和铸件

表面粗糙度, 根据履带板的结构和壁厚, 原砂的粒度应选择 40/100 目, 筛上力求符合正态分布。集中度 $>85\%$ 。含泥量 $<0.2\%$, 粒型为椭圆形, 水分 $<0.1\%$ 。

2.1.2 膨润土

膨润土是高密度湿型粘土砂的关键材料, 其质量的优劣, 直接影响型砂的工艺性能。膨润土的蒙脱石含量越高、粒度越细, 粘结力大, 工艺湿压强度越高; 钠基膨润土与普通膨润土相比, 在同等使用条件下使型砂的湿态粘结力高, 透气性、流动性及复用性好, 抗粘砂、夹砂能力强, 型砂综合性能优越, 由于优质钠基膨润土复用性好, 高温下烧损率低, 型砂中死粘土少, 有效成分多, 混砂时补加量很少, 一般低于 1% , 因此能够有效降低型砂中的粉尘含量和含水量。高密度湿型粘土砂在高压造型的作用下循环使用过程中, 应选用优质钠基膨润土。本项目选择了钠基膨润土, 其主要技术指标为: 工艺湿压强度 $>120\text{kPa}$, 粒度过 200 目 $>95\%$, 热湿拉强度 $\geq 3.5\text{kPa}$;

2.1.3 水

水是润湿膨润土的载体, 膨润土首先吸水、润湿、水化、膨胀, 然后才具有粘结功能。高密度湿型粘土砂采用的人工钠化湿膨润土是将钙基膨润土通过钠化处理得到的产物, 因此, 对水的 pH 值有一定的要求, 要求其不小于 6, 否则存在反活化, 影响人工钠化湿膨润土的使用效果。

2.1.4 附加物

附加物是为了改善造型性能和防止铸造缺陷而添加的。笔者根据以往的生产经验选择了具有生物活性的铸钢粘结剂, 能够吸水并具有一定的保水功能, 提高型砂的湿拉强度和韧性、退让性, 减少砂型起模阻力、提高铸件表面质量, 减少夹砂、防止裂纹等缺陷。

国内外绝大多数铸造企业高压造型都采用 α 淀粉配制湿型粘土砂。 α 淀粉是单一玉米淀粉经过糊化后的产物, 水解度明显优于 β 淀粉, 但缺点是降低型砂的流动性, 如果型砂中的水分和温度较高时容易发酵变质, 相当于玉米粉发酵, 对钠基膨润土有反活化作用, 影响型砂的强度。本项目的 MSC 铸钢粘结剂主要成分为高分子胶质组分、多糖组分、有机纤维质、热敏性组分和耐火组分。胶质组分在水浸润下有很强的粘性, 遇水后形成富有粘性的胶状体, 有较好的韧性、塑性, 对砂粒表面有较好的润湿性, 可较均匀地包覆于砂粒表面, 以它为组分配制的湿型砂有很高的湿态强度及良好的柔韧性。胶质组份呈网状体型结构, 在型砂中起到增强、增韧作用, 提高型砂的热湿拉强度; 由于其容重小而占有较大型砂空间, 型砂柔韧松软, 有利于型腔气体外逸, 使砂型有良好的透气性, 减少气孔缺陷, 铸件收缩时可以起到退让作用, 从而可以防止铸件产生夹砂及裂纹缺陷。当钢水进入型腔后, 砂型温度剧增, 热敏性组分在极短时间内发挥其温度敏感功能, 发生物态变化, 在钢水表面汇集成致密的微观薄壳区, 形成了防粘砂效果极强的可剥离松脆光亮碳膜, 并形成还原性气体, 阻止钢水穿入砂型缝隙, 防止粘砂。耐火组分提高了型砂耐热性, 改善型砂的高温性能, 防止夹砂和砂眼等缺陷。哈尔滨海洋经济技术开发区有限公司的 MSC 铸钢粘结剂与 α 淀粉的理化性能对比情况见表 1。

表 1 MSC 铸钢粘结剂与 α 淀粉的理化性能对比情况

材料	性能 外观 (色泽)	气味	密度(g/cm^3)	成分	PH 值
MSC 铸钢粘结剂	棕红粉末	芳香	<0.85	复合材料	8
α 淀粉	淡黄粉末	粮食味	<0.9	单一组分	7

2.2 高密度湿型粘土砂工艺配方、工艺性能优化及其他工艺因素控制

在高密度湿型粘土砂的原材料选择的基础上, 通过采用 $L9(3^4)$ 正交试验法研究回用旧砂、膨润土、粘结剂和工业水加入量与工艺性能的关系, 以及各组分对型砂工艺性能的影响。主要考察湿压强度、透气率、紧实率、水分 4 项现场性能, 重点考核砂型和铸件质量。

2.2.1 高密度湿型粘土砂工艺配方

根据试验结果综合筛选并经工艺配方修正, 确定的最佳工艺配方为:

回用旧砂 (93%~95%) + 新砂 (5%~7%) + 膨润土 (0.4%~0.6%) + 铸钢粘结剂 (0.25%~0.5%) + 工业水 (适量)。

2.2.2 工艺性能优化

高密度湿型粘土砂的日常性能水分控制在 2.3%~2.6%, 紧实率控制在 $(40 \pm 4)\%$, 透气性控制在 150~220, 湿压强度 90kPa~120kPa。粘土砂的常规性能含泥量控制在 7.0%~10.0%, 有效膨润土控制应在 4.0%~6.0%, 灼减量应不超过 5.0%。旧砂的含水量应控制在 1.5%~2%左右的范围内, 温度应控制在 45℃以下。旧砂中不得混有铸件气眼针等金属杂物以及大块砂、废芯子, 含泥量超过 10% 将回用旧砂排放。

2.2.3 其他工艺因素控制

型砂经过多次浇注, 反复使用, 砂温不断上升, 铸件易产生缺陷, 造型时砂粒也容易粘附模具, 影响铸件的外观质量和几何尺寸, 旧砂的水分含量对型砂的性能有着重要的影响, 合适的旧砂含水量能保证旧砂在从浇注完成到重新进入混砂机进行混碾这一过程中有效膨润土保持一定的水化状态, 进入混砂机只需加少量的水, 在较短的时间内完成混砂过程。冷却喷水量应为总喷水量的 1/4~1/3, 进入冷却床前第二次测温增湿, 水雾将冷却汽化潜热所需水量加足, 即达到旧砂在 40℃以下的理想冷却效果。

高密度湿型粘土砂日常性能水分、紧实率、透气性、湿压强度每 2~3 碾抽检 1 碾。常规性能含泥量、灼减量的检测频次 3~4 次/周, 有效膨润土的检测频次 5 次/周。

3 特种车辆高锰钢履带板的生产实践及工业化应用情况

通过静压造型铸造装备技术高密度湿型粘土砂工艺研制, 突破高锰钢履带板静压造型高密度湿型粘土砂工艺配方关键技术, 研制出了适合高锰钢履带板静压造型生产线的高密度湿型粘土砂工艺配方, 所研制的静压造型高密度湿型粘土砂工艺无论从型砂性能还是造型性能, 以及浇注的特种车辆高锰钢履带板合格率较原工艺提高了 20%以上, 2011 年静压造型高密度湿型粘土砂工艺研制成功后, 当年就减少废品损失 300 万元以上, 从 2011 年 3 月以来一直批量稳定生产, 目前已累计实现效益超过上千万元, 产生了巨大的经济技术效益和军事效益, 同时催生出了技术发明, 并获得了国防发明专利授权。

4 结论

静压造型高密度湿型粘土砂的工艺研制, 解决了特种车辆高锰钢履带板静压造型存在的技术难题, 达到了“高锰钢履带板静压造型铸造生产线”改造设计技术要求, 发挥出了静压造型生产线的技术装备优势, 并生产出优质铸件, 其综合技术达到国际先进水平, 2011 年通过了中国兵器工业集团的技术鉴定, 2012 年获中国兵器工业科技进步二等奖。

参考文献:

- [1] 武玉平. XX 产品高锰钢履带板静压造型高密度的湿型粘土砂的工艺研究技术总结报告. 2011.
- [2] 胡彭生. 造型材料[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.