QT500—7
厚大球墨铸铁件的开发生产

中国一拖集团有限公司通用铸造厂 (河南洛阳 471004) 张建中 余国鹏 李瑞洛
中国一拖集团股份有限公司技术部 (河南洛阳 471004) 朱留仓
中国一拖集团有限公司球铁铸铝厂 (河南洛阳 471004) 甄艳君

摘要：我厂生产的建筑用打桩机上活塞毛坯，以 QT500—7 材质代替锻钢，经加工装机使用发现其耐磨性、裂纹敏感性比锻钢件更优异，非正常停机明显减少，使用寿命有较大提高。其毛坯件生产工艺在特种厚大断面球墨铸铁件生产中有一定的代表性。

1. 使用工况及缺陷分析

打桩机上活塞单件净重达 6200kg，在 3m 左右的冲程里 35～60 次/min 循环冲击，最大冲击能量高于 18600N·m。活塞截面 ϕ580mm，长 3910mm（加工后净尺寸截面 ϕ550mm，长 3890mm）。在距活塞端头 100mm 处，每间隔 25mm 加工宽 10mm、深 15mm 的密封环凹槽（共 7 道）。在以前使用锻钢件的设备中发现，在反复冲击工况下，上活塞易出现环槽转角应力集中而产生裂纹，并发展为环槽撕裂、拉缸及密封失效等造成停机事故。如果材质改用球墨铸铁，其生产过程的风险是显而易见的，因为如此厚大的球墨铸铁件在我厂的生产历史上还是一片空白，在现有能查阅到的资料中也没有可资借鉴的成熟工艺。由于制造过程中铁液冷凝过程缓慢，出现石墨畸变、组织粗大、石墨漂浮、孕育衰退，以及力学性能均匀性差等问题是我们必须面对和解决的。为此，我们对工艺控制的各个环节进行了慎重研究，提出并实施了可行的工艺方案。

2. 金相及化学成分选择

鉴于上述原因，铸件既要有高的抗拉强度又必须具备适当的伸长率，为此，我们将材质设定为 QT500—7，球化级别在 3 级以上，铁素体 30%～70%，不允许有渗碳体或磷共晶存在。对化学成分的具体选择如下：

（1）C 碳是促进石墨化元素，能减少白口，即减少 Fe_3C 和珠光体，增加铁素体，促进石墨化及镁的吸收，改善球化，增加凝固时的体积膨胀。但对于厚大球墨铸铁件，过高的碳易产生石墨漂浮、石墨畸变等缺陷，所以选择碳含量极为关键。经反复分析，选择 $w_C = 3.4\% \sim 3.7\%$。

（2）Si 强烈促进石墨化元素，以孕育剂方式加入时，可减少 Fe_3C 和珠光体，增加铁素体，改善塑性，但对厚大件而言，当硅过高时，铁素体量会增加过多，从而降低强度，生产中我们选用 $w_{Si} = 2.1\% \sim 2.5\%$。

（3）Mn 锰在一次结晶中强烈增加 Fe_3C 的稳定性，促进形成合金渗碳体，且易在晶界上产生偏析。但锰含量过低，强度会受影响，生产中选用 $w_{Mn} = 0.3\% \sim 0.5\%$ 为宜。

（4）Cu 铜在一定含量范围内固溶强化铁素体，在 $w_{Cu} < 1\%$ 时，随含量的增加，强度和硬度增加，且明显改善断面组织的均匀性。铜还能稳定和细化珠光体，是混合基体球墨铸铁的首选元素，但随含量的增加，伸长率随之降低，为此选用含量定为 $w_{Cu} = 0.3\% \sim 0.5\%$。

（5）Mo 强烈促进形成碳化物，少量钼可以固溶于铁素体，提高铸态铁素体、珠光体的显微硬度，从而提高球墨铸铁的硬度，并能提高铸态或正火后球墨铸铁的强度，生产中选用 $w_{Mo} = 0.15\% \sim 0.25\%$，以期与铜联合进行合金化，达到提高强

度及断面组织均匀性，又不明显降低伸长率之目的。

(6) P　磷在铸铁中溶解度很低，当 $w_P < 0.05\%$ 时，易偏析于共晶团界面形成磷共晶，严重恶化力学性能，但考虑我厂原材料状况，在生产中限制在 $w_P < 0.06\%$。

(7) S　硫与镁、稀土亲和力很强，会消耗铁液中的球化元素镁而形成硫化物夹渣。由于硫的消耗作用，使有效的球化元素含量过低而降低球化率，即使球化处理后期球化合格，球化衰退也很快。硫还促进形成夹渣、皮下气孔等缺陷。因此硫含量越低越好，生产中要求限制 $w_S < 0.03\%$。

3. 熔炼工艺与设备

(1) 熔炼设备　我厂有 3t、7t 冲天炉各一台，3t、5t 电弧炉各一台。冲天炉生产中由于受焦炭的影响，硫含量将难以保证控制在要求范围内，且铁液温度和生产安排都受很大限制，最终决定采用电弧炉进行生产。数年来的生产实践表明：采用电炉熔炼，其化学成分调整、铁液温度控制、生产安排的灵活性完全满足了上活塞稳定生产的要求。

(2) 原材料的选择　①为了稳定化学成分和将硫、磷控制在要求范围内，在原材料的选择使用中坚持采购中、大型企业 400m³ 以上高炉生产的 Q10 生铁，且每批进行复验，硫、磷含量不符合技术标准要求的坚决不用，并一律采用优质废钢。②球化剂选用长效复合钇基重稀土球化剂。③一次孕育剂采用硅钡粒与硅铁粒混合使用，粒度为 5～15mm；随流孕育采用硅钡粉，粒度为 0.3～0.8mm。④钼铁采用 FeMo55—A，铜采用纯铜板。

4. 熔炼操作

(1) 为了避免在电弧炉生产中铁液间及反球化元素对原铁液化学成分的干扰，在生产安排中必须进行精心计划，即在碳素低硫磷钢之后安排生产上活塞这类的大型球墨铸铁件，并且尽量将电弧炉的球墨铸铁件生产安排在一起。

(2) 在炉料熔清之后快速升温，并尽快除渣和合金化。钼是活性较小的元素，钼铁一般随料加入，熔清后进行微调；铜由于熔点很低，一般放入铁液包内冲熔；锰和硅出铁前调整。

(3) 当铁液温度提高到 1510～1530℃（热电偶测温）即可调整成分出铁，此时的化学成分应控制在如下范围内，否则改品种浇注。原铁液化学成分要求：$w_C = 3.5\% \sim 3.7\%$，$w_{Si} = 0.5\% \sim 0.7\%$，$w_{Mn} = 0.35\% \sim 0.45\%$，Mo、S、P 在规定范围内。

5. 出铁后的处理及浇注

(1) 球化处理采用冲入法，由于铁液量大，所以为便于对球化过程的监控，首批铁液应出至总铁液量的 2/3，待球化反应结束时（一般为 1.5～2.5min）加入一次孕育剂，而后将剩余铁液出完。一次孕育剂加入总量为铁液量的 1.4%～1.6%。

(2) 铁液全部出完后进行搅拌和除渣操作，将铁液表面浮渣全部扒除后，再覆盖草灰等覆盖剂。

(3) 吹氩处理　同样由于铁液量的原因，包内铁液温度、化学成分、球化反应及其产物的偏析不可避免，为此特增加了此项操作。处理方式为：包底预埋透气砖，通过引出管通气进行底吹氩。为了达到不拖延过长时间，减小球化、孕育衰退的危险，又能除气、去夹渣、均匀成分和温度的目的，规定吹氩时间为 3min，氩气压强 0.15MPa，之后快速吊包至浇注位置进行浇注操作。浇注前将包嘴内清理干净。

(4) 浇注时要采用堤坝、拔塞式浇口，进行有效挡渣和随流孕育。随流孕育剂采用专门制作的漏斗存放，使之在整个浇注过程中均匀地流入铁液中，以保证铸件在整个成形过程中随流孕育的均匀有效。浇口杯内铁液充满时打开塞棒，并开启孕育自流管，中期全速浇注，浇注结束时收包要稳。

(5) 初始浇注温度控制在 1390～1400℃，浇注完毕后依据环境温度情况 24～30h 打箱。

6. 实际生产情况

采用此工艺已生产打桩机上活塞 300 余件，除个别因设备故障等异常原因造成废品损失外，其化学成分、金相组织、力学性能和铸造缺陷等都稳定控制在较为理想的范围内，此前所担心的石墨漂浮和畸变、组织粗大及力学性能不均匀等问题均未出现。

经装机使用和退役机体的解剖分析发现，以 QT500—7 材质代替锻钢使用的上活塞的加工性能、耐磨性、裂纹敏感性更优异，非正常停机明显减少，有效使用寿命更长，而其综合制造成本只相当于锻钢件的 60%～70%。现任取 10 次生产检测数据列于下表：

（下转第 58 页）

化曲线下移），还原带、过热区缩短，引起铁液温度下降，风口易结渣，铁液易氧化，Si、Mn等元素熔炼损耗增加，同样会造成铁液氧化、气孔、夹渣及低温等质量问题。

3. 供风温度

提高风温可增加热量来源，提高焦炭的燃烧速度（有利于氧在焦炭中扩散），氧化带缩短，Si、Mn等元素熔炼损耗降低，使还原带相对延伸，同时炉温提高还会使 CO_2 初始还原速度加快，炉温下降趋势增加，但风温高炉气温度也高。实践证明，风温在400℃以下时，提高风温对提高熔化率和铁液温度，减少合金元素熔炼损耗，提高熔炼质量，以及降低能源消耗等极为有利。

4. 供风含氧量

供风含氧量高对提高熔炼质量有利，但在实际生产中富氧供风成本高，因此冲天炉熔炼一般不采用。

5. 结语

总之，选择合理的供风状态应该从冲天炉的设计性能、供风系统性能、地区差别（南北方、海拔高度不同的差别）、季节气温及原材料质量等因素综合考虑。提高供风温度，保持一定的供风量（可根据一定熔化率下所需氧气量计算出）和适当的供风强度，对提高熔炼质量极为重要。而选择合理的供风状态应在设备配置、修炉、原材料选用及熔炼等实际操作中根据供风影响原理结合生产中出现的迹象和问题做好调整，做到以下几点：

（1）尽量采用热效率高的热风炉，综合考虑各项影响因素，促进熔炼能耗下降。

（2）根据流体学原理结合现场设备布置，科学设计供风管道系统，尽可能减少风能损失。

（3）原材料选择要符合冲天炉熔炼的要求。

（4）认真做好设备检查、维护保养和冲天炉操作，及时排除供风系统故障，避免风口结渣。

（5）合理的风口比、炉膛结构和直径、风口布置等对炉内熔化曲线状态影响很大，在修炉时应根据设备性能、自然因素及原材料质量等各影响因素合理选择以上各项可控参数并随之调整。

采取以上措施并合理控制，可提高冲天炉熔炼的质量，减少铁合金的熔炼损耗，降低原材料消耗和能耗，提高效率，降低生产成本。热

（20040620）

（上接第55页）

项目 / 序号	化学成分（质量分数，%）									金相组织		力学性能	
	C	Si	Mn	Cu	Mo	S	P	Mg	RE	球化评级	铁素体（%）	σ/MPa	δ（%）
1	3.63	2.20	0.33	0.47	0.16	0.011	0.058	0.044	0.032	2级	60～65	550	11.5
2	3.67	2.40	0.40	0.33	0.15	0.025	0.040	0.060	0.028	2级	35～40	558	8.1
3	3.60	2.46	0.40	0.46	0.18	0.010	0.052	0.053	0.041	2级	50～55	592	7.5
4	3.60	2.47	0.42	0.45	0.20	0.010	0.045	0.043	0.029	3级	35～40	532	7.8
5	3.60	2.35	0.34	0.47	0.21	0.012	0.054	0.050	0.031	2级	30～35	551	7.0
6	3.69	2.23	0.34	0.47	0.19	0.010	0.042	0.039	0.035	3级	45～50	529	9.5
7	3.59	2.34	0.33	0.41	0.20	0.015	0.047	0.042	0.036	2级	55～60	522	13.3
8	3.59	2.38	0.30	0.38	0.15	0.013	0.054	0.041	0.027	2级	65～70	513	16.2
9	3.60	2.32	0.36	0.42	0.20	0.020	0.053	0.052	0.036	2级	40～45	518	8.3
10	3.57	2.27	0.44	0.43	0.18	0.014	0.057	0.050	0.038	2级	65～70	555	12.8
平均	3.61	2.34	0.37	0.43	0.18	0.014	0.050	0.047	0.033	—	—	542	10.2

7. 结语

（1）采用上述工艺生产的QT500—7上活塞代替锻钢件是可行的，无论是使用性能还是经济性均较锻钢件有明显优势。

（2）上述工艺对于进行其他厚大球墨铸铁件的生产具有一定的借鉴意义。

（3）吹氩处理和堤坝式浇口在生产过程中表现出了很高的使用价值，对于提高厚大球墨铸铁件的质量具有重要作用。

（4）对于类似截面和重量的厚大球墨铸铁件采用微合金化方法十分必要，是保证铸件本体强度的有效手段。热

（20040730）