

火力发电厂燃煤机械用耐磨技术介绍

华北电力大学 温新林

二〇一四·杭州

火力发电厂 燃煤机械用耐磨技术介绍

国家电力工业抗磨工程研究发展中心 主任

国家电力工业耐磨材料实验研究中心 主任

国家电力工业耐磨材料标准首席制定 专家

华北电力大学 (211、863、985重点项目) 温新林 教授

2014-03-17于杭州

热烈祝贺

中国华电集团燃煤电厂金属、
锅炉专业技术监督交流会在杭州召开

华北电力大学

国家电力工业抗磨工程研究发展中心

国家电力工业耐磨材料实验研究中心

中国电机工程学会耐磨材料专业委员会

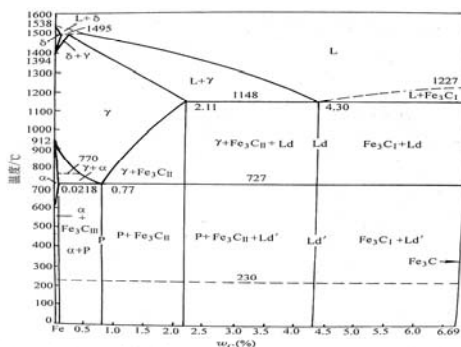
一、国家电力耐磨材料发展的几个阶段

- 1、高锰钢阶段 (Mn13类、A、水韧处理、加工硬化、宜冲击载荷下工作)
- 2、镍硬铸铁 (Ni; 稀缺)
- 3、高铬铸铁 (口语) 抗磨白口铸铁 (标准) 耐磨合金 (堆焊) (单金属、双金属制造、复合制造)
- 4、硬面堆焊、硬面熔覆
 - ① 氩弧焊; 二保焊、高铬铸铁; 有均匀的非贯穿性龟裂纹; 内应力释放、表面不平整。
 - ② 激光、等离子弧、粉末熔覆技术、无裂纹、表面平整、无龟裂纹。
- 5、金属陶瓷复合熔铸 (金属陶瓷预制件+中间材料+珠光体基体 (T、B) QT材料)、非金属耐磨材料+金属材料=复合制造。

二、耐磨管道发展的几个阶段

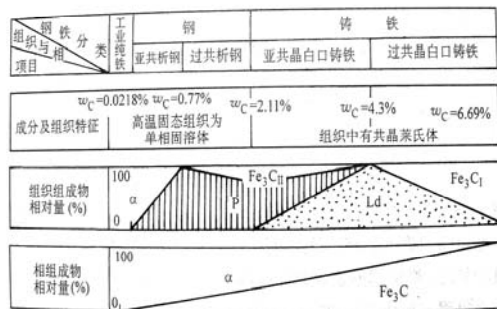
- 1、单金属耐磨管道 (管道制造技术+热处理、MB钢)
- 2、双金属耐磨管道 (离心浇注、消失模浇注、镶铸 (嵌) 技术)
- 3、内壁 (管) 硬化 (中频及高频感应淬火)、含直管和弯管。
- 4、TC复合 (① 铝热法制造、自蔓延高温合成
② 粘贴法制造
③ 铆焊法、周边相邻挤压法、固粘法、拱形法
④ 整体套装法⑤ 铸造陶瓷)
- 5、XJ复合
- 6、高温耐磨管道 (龟甲网类)
- 7、ZS复合
- 8、SiC复合 (氧化物结合、反应烧结、重结晶、无压真空烧结)
- 9、内壁堆焊 (机器人) 管道
- 10、硬面耐磨平板再制造技术、卷制成弧型拼贴焊接等等

三、金属学原理



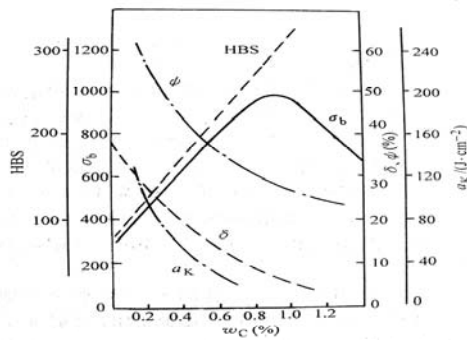
按组织组成物分区的铁-碳合金相图

三、金属学原理



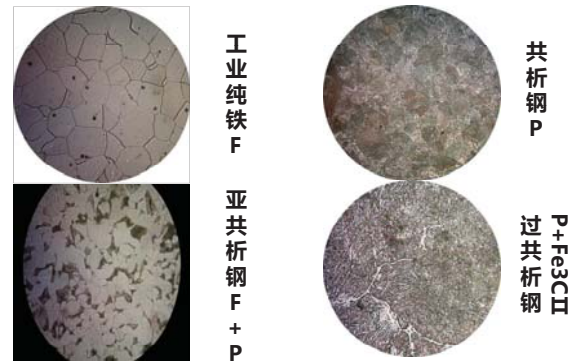
铁-碳合金的成分与组织的关系

三、金属学原理



含碳量对平衡状态下的铁碳合金机械性能的影响

三、金属学原理



三、金属学原理



亚共晶
白口铸铁
 $P + Fe_3C_{II} + Ld'$

共晶
白口铸铁
 Ld'

过共晶
白口铸铁
 $Ld' + Fe_3C_I$

四、耐磨材料的发展方向与预测

- 1、TC相 + 高强韧耐高温耐腐蚀耐磨损基体合金
(如: 性价比好的, TC相 + 珠光体基体QT)
- 2、复合熔铸技术
- 3、MC球化技术、粉末熔覆技术

五、DL/T 681-2012燃煤电厂磨煤机耐磨件 技术条件

颁布实施开始日期: 2012年12月1日

国家能源局

(学习、宣传、贯彻、执行)

六、DL/T 680 - 2014电力行业耐磨管道 技术条件

(送审稿、再次征求意见)

代替标准: DL/T 680-1999

国家能源局

(学习、宣传、贯彻、执行)



七、DL/T XXXX - 2016燃煤电厂碎煤机耐磨件技术条件(制定)

(开始调研、考察、走访)

循环流化床锅炉-滚轴筛-细碎机-锤头-碎

煤板-反击板

碎煤机-环锤-破碎板-筛板-筛分板-筛滤

板【高锰钢、MB钢淬火技术】



1、锤头

Mn13类

Mn13Cr2 ($S \leq 0.06$ 、 $P \leq 0.06$; 国标GB是 $P \leq 0.10$) Mn17Cr2、Mn17Mo (1: 10 = 件: 水; 30进、60出; 1100℃急冷、水韧处理、淬火、循环清洁水、均匀冷、快冷! 忌回火! 忌晶界MC) 防弹钢



2、环锤

Cr系

耐磨钢(李卫)

3、钢筛板、筛分板、筛滤板

GB/TXXX耐磨钢-2011

堆焊复合制造、冷、热复合制造金属陶瓷熔覆技术、金属陶瓷复合熔铸技术、金属硬质合金复合制造技术



4、破碎板类(MB钢)

40Mn2、50Mn2等

高合金钢MB钢技术

5、碎煤板、反击板、衬板类(MB钢)

40Mn2、50Mn2等

高合金钢MB钢技术



八、中国破碎机锤头质量控制及使用经验

内容提要:

本文对锤式破碎机锤头的工况条件进行了磨损失效分析,这是合理选择锤头的耐磨材料,正确选择锤头的生产方法及合理使用锤头的前提。

本文对国内部分铸造厂不同生产方法质量控制及使用经验进行评介。

对锤头生产单位采用合适的生产方法,进行严格的质量控制;使用单位根据不同的工况正确选用锤头提出建议。



前言

各类电煤、矿石、石灰石、煤炭破碎是冶金矿山火电厂和水泥矿山等行业主要生产工序之一。锤式破碎机的锤头是关键耐磨配件,它的生产制造和使用性能不仅关系到矿石破碎的产量、质量、使用安全和使用周期而且直接关系到选矿厂和水泥厂的正常生产,因此受到制造厂和使用厂的高度重视。

近年来锤头从材料的化学成分,熔炼,铸型工艺,热处理工艺等方面不断改进,创新取得良好效果。但是锤头生产制造和使用中仍有不尽人意之处。笔者对锤头制造的质量控制、使用经验作简要评介。

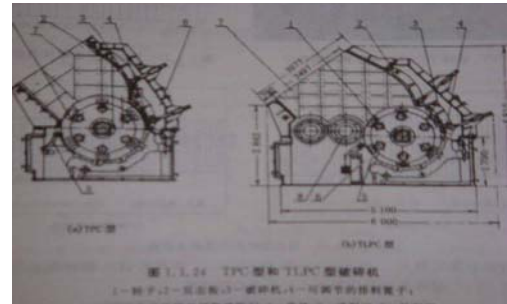
1. 锤头的磨损失效分析

1.1. 锤头的工况条件

1) 锤式破碎机基本结构

以TPC20-22型单转子单段破碎机为例,其进料粒度为 $1000 \times 1000 \times 1400 (\text{mm}^3)$;出料粒度为25-80(mm^2);台时产量为500-700t/h;功率710-900KW;它的转子尺寸为 $\Phi 2020 \times 2200 (\text{mm}^2)$;线速度为30-38m/s,带动50个每只125公斤重的大锤头高速回转,破碎石灰石.破碎比:40-50. TPC型和TLPC型破碎机结构如图1。(1)

图1. TPC型和TLPC型破碎机结构图



2) 矿石及石灰石物料情况:

各单位矿山地理位置不同,其铁矿,有色矿及石灰石的岩相组成、硬度、强度、解理面、脆韧性、含水率和黏结性、含泥量、对金属的磨蚀性等的不同;开采及运装设备不同,锤式破碎机规格大小不同,造成进料粒度不同,使锤头承受不同的冲击凿削及高应力切削磨料磨损的严重程度不同。(1)

1.2 锤头的磨损失效分析

1) 锤式破碎机工作原理

锤式破碎机是利用高速旋转的锤头对进入机内的物料冲击破碎,并将物料以高速向反击板方向冲击,落入下机体的物料再经过锤头和篦板的剪切、挤压,当粒度合乎要求时从篦缝中排出。

2) 锤头磨损失效分析

当物料与高速旋转的锤头撞击时,如正面撞击,物料尖角压入锤面,形成撞击坑,其冲击力全部转为对锤面的压应力,此时锤头属于撞击凿削磨料磨损。但当物料以一定角度撞击锤头时,冲击力可分解为垂直锤面的法向应力及平行锤面的切向应力,前者使锤头表面产生冲击坑,后者对锤头表面进行切削,形成一道道切削沟槽,则为切削冲刷磨料磨损。

锤头工作期间不是整个锤面全部用于破碎物料,只有顶部侧面靠近边缘的区域进行破碎,称为工作区,随着锤头的不断磨损,工作区发生变化,物料对锤头的磨损方式也发生变化,即前期以撞击凿削磨料磨损为主,逐渐转为后期以切削冲刷磨料磨损为主.因此锤头的磨损失效机理是撞击凿削磨料磨损和切削冲刷磨料磨损。(2)

根据锤头的使用工况条件,进行磨损失效分析,才能合理选择锤头的耐磨材料和正确选择锤头的生产方法。

2. 锤头不同生产方法的质量控制

锤式破碎机锤头生产方法以铸造为主,小型形状简单也有采用模锻生产的。

铸造生产的锤头:

分为砂型铸造;消失模铸造;V法铸造;机械复合单液双金属铸造;双液双金属复合铸造;锤头磨损部位镶铸硬质合金柱;锤头磨损部位堆焊硬质合金;锤头磨损部位采用金属陶瓷铸渗;用螺栓固定组合锤头等等。

砂型铸造采用的型砂:

有普通粘土砂,水玻璃石英砂,镁橄榄石砂,铬铁矿石砂,树脂砂等等;

破碎机锤头采用的耐磨材料

有奥氏体锰钢;低碳低合金钢(MB钢);高铬耐磨铸铁等等。

2.1 锤头采用奥氏体锰钢生产的质量控制

(1) 奥氏体锰钢锤头熔炼及化学成分

1) 奥氏体锰钢锤头成分设计与熔炼

近年来人们多加2%左右铬(Cr)提高屈服强度和耐磨性能。由于锤头厚度大(160-180mm),为了使中心部位也为全奥氏体组织,人们降低碳含量,提高锰含量,锰含量提高后容易使其柱状晶长大,为此人们加Mo, V, Ti, B, RE, Nb等多元微量元素。

加V, Ti, B, RE复合变质剂, 纳米变质剂, 悬浮剂等细化晶粒, 变质夹杂。提高冶金质量和综合耐磨性能。

严格执行熔炼工艺采用炉底吹氩, 浇包吹氩等方法充分进行脱氧去气; 采用化验炉渣中氧化锰(MnO)或氧化铁(FeO)含量确定脱氧效果。

严格控制出钢温度(1480-1540℃), 特别是浇注温度要低(1380-1430℃), 在满足锤头成型的条件下, 低温浇注是细化晶粒最好方法之一。

2) 熔炼和浇注

温度为1415℃左右。

浇注速度要快, 先小流对准浇口, 立即大流浇注, 最后点浇冒口2-3次; 注意挡渣引气排气高锰钢熔炼要按照规程进行。装料时在炉底加入2%左右的建筑石灰作底渣。炉衬要采用镁砂碱性炉衬, 对碱性炉底渣可帮助钢液脱磷;

高锰钢的浇注温度对一次结晶, 对铸态组织的粗细影响极为明显。浇注温度高时, 晶粒粗韧性低。浇注温度低晶粒细, 柱状晶区比例减小; 铸件主体壁厚对冷却速度有关, 铸件壁厚大则浇注温度应该低。经验公式为: $T=1485-0.3\delta$

T—浇注温度(℃)

δ ——铸件主体壁厚(mm)

浇注温度一般为: 1380℃-1430℃。125 公斤大锤头最佳浇注, 确保锤头补缩良好。

3) 奥氏体锰钢锤头的化学成分

目前广泛采用ZGMn13Cr2VTiREB和ZGMn17Cr2VTiREBNb两种化学成分, 特别要严格控制C, Mn, Si, P的含量。化学成分设计如表1。

表1. 奥氏体锰钢大锤头化学成分设计(%)

元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	Ti	RE
ZGMn13Cr2VTiRE	0.95/1.2	0.4/0.6	12.0/14.0	<0.05	<0.03	1.5/2.0	0/0.30	0.1/0.2	0.08/0.12	+0.25
ZGMn17Cr2MoVTiRE	0.9/1.15	0.4/0.6	16.5/18.5	<0.05	<0.03	1.8/2.2	0.3/0.6	0.1/0.25	0.08/0.12	+0.30

目前许多制造厂原则上都是按照表1成分控制。表2为驻马店中集华骏铸造公司生产的ZGMn13Cr2大锤头, 其10炉的实际化学成分。(采用日本岛津PDA-IV5500光谱仪分析)

表2. 光谱仪测定10炉ZGMn13Cr2大锤头的化学成分(%):(3)

编号	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Al	RE
1	1.05	0.55	12.80	0.030	0.014	1.98	0.064	0.004	+0.25
2	1.11	0.56	12.79	0.035	0.015	2.03	0.036	0.016	+0.25
3	1.18	0.64	13.30	0.036	0.019	2.05	0.016	0.029	+0.25
4	1.15	0.74	12.54	0.036	0.013	1.83	0.043	0.005	+0.25
5	1.13	0.65	13.60	0.037	0.016	2.08	0.024	0.028	+0.25
6	1.11	0.57	13.24	0.037	0.013	2.02	-----	0.026	+0.25
7	1.23	0.63	13.12	0.037	0.011	2.07	-----	0.003	+0.25
8	1.20	0.81	12.63	0.047	0.016	1.99	0.056	0.004	+0.25
9	1.10	0.70	13.36	0.031	0.014	1.96	0.260	0.029	+0.25
10	1.28	0.71	14.05	0.046	0.020	2.08	0.048	0.020	+0.25

从上表可见这几炉高锰钢碳含量在下限, 锰含量在上限, 铬含量适中, 特别是含磷较低, 多在0.04%以下。因此使用效果很好。

4) 奥氏体锰钢锤头的机械性能

表2中10炉高锰钢锤头的机械性能如表3:

表3. 实际生产10炉高锰钢锤头的机械性能:(3)

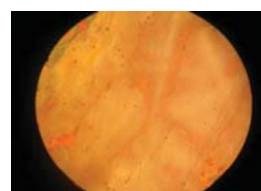
编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
冲击韧性aku(J/cm ²)	116	176	235	240	181	154	141	118	126	225
硬度 HB	----	----	218	216	----	-----	-----	-----	-----	-----

从表3可看出这10炉高锰钢的冲击韧性都较高, 控制在标准的上限。(国家标准规定冲击韧性:aku) 118 J/cm²)

5) 奥氏体锰钢锤头的金相组织

表3中第10炉高锰钢经过1080℃保温3小时后水淬热处理, 采用XJL-03型金相显微镜观察的显微组织如图2。

图2. 实际生产中金相组织: A+X1(晶粒度2级)



实践证明125公斤大锤头选择高锰钢生产, 安全可靠, 耐磨性能好。但是一定要严格按生产工艺执行。化学成分锰碳(Mn/C)比要大于10; 含磷量要小于0.045%; 加入2.0%左右的铬, 提高屈服强度, 加入钒, 钛, 稀土硼等孕育剂变质剂, 细化晶粒。提高耐磨性。

热处理由于加入一些合金元素, 淬火温度要提高到1080~1100℃, 铸型工艺根据自身生产条件选择合适的工艺。

2.2. 锤头铸型工艺质量控制

(1). 砂型生产的质量控制

1). 采用镁橄榄石砂平作, 加外冷铁、顶冒口, 生产435公斤ZGMn13Cr2MoTiRE的大锤头其铸型工艺如图3. (4)

图3-1. 采用镁橄榄石砂加外冷铁



图3-2. 下箱铸型



图3-3. 上箱铸型及保温冒口颈



2) 采用石英砂二氧化碳硬化

采用发热保温冒口及成形外冷铁生产的125公斤大锤头。

图4为生产125公斤大锤头的一组照片。(江苏金坛大隆铸造厂)

图4-1. 下箱木模



图4-2. 下箱铸型



图4-3. 上箱铸型



4-4. 上箱浇口和保温冒口



图4-5. 一箱两个125公斤锤头



图4-6. 大锤打下的保温冒口



在锤头磨损部位周围放成型外冷铁, 既有利于补缩, 又细化磨损部位的晶粒, 提高耐磨性。

铸型质量控制要点:

- 1) 采用保温发热冒口放在锤头顶部;
- 2) 底部及磨损部位周围放成型外冷铁, 既有利于补缩, 又细化磨损部位的晶粒, 提高耐磨性。许多生产单位采用这种铸造工艺, 补缩效果好, 建议砂型铸造, V法铸造都应采用该工艺。
- 3) 在锤头磨损部位镶铸硬质合金柱

为了提高锤头的耐磨性能许多单位在锤头的使用部位加硬质合金柱, 这种工艺首先由广州有色院耐磨研究所, 郑州鼎盛公司研制, 目前许多厂在生产。

生产方法

将硬质合金柱焊上铁钉，铸型刷快干涂料自然烘干后，钉入硬质合金柱若干，再用火焰喷枪表面烘干，如图5。

图5-1. 钉入硬质合金柱



图5-2. 镶硬质合金圆柱



图5-3. 镶硬质合金条块



质量控制

- 1) 选择合适的硬质合金柱，安装在合理的部位；
- 2) 对硬质合金柱进行预热。

高锰钢镶硬质合金柱的工艺，合金柱的加入相当植入内冷铁，细化晶粒，特别是合金柱是磨损部位的硬质点大大提高耐磨性，使用寿命比普通高锰钢提高50%以上，使用安全可靠，许多单位在生产，125公斤大锤头都在采用这种工艺，该工艺有一定发展空间。

镶硬质合金圆柱使用过的锤头



4) 锤头耐磨部位铸渗金属陶瓷等复合材料

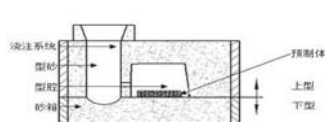
近年来我国研制金属陶瓷等复合材料方兴未艾。西安交大，广州有色院，郑州鼎盛等单位相继研制出金属陶瓷等复合材料，并在锤头耐磨部位上应用，取得良好效果。

采用表层复合材料的设计思想和制备技术，将陶瓷颗粒制作成预制体，结合重力铸造方法，制备了陶瓷-金属基复合材料，并把此项技术应用到磨辊、锤头等耐磨部件，较好的解决了耐磨备件的耐磨性和安全性。

多孔状预制体



复合材料制备工艺



陶瓷-金属基复合锤头



锤头磨损部位铸渗金属陶瓷新工艺，国外已有发展，国内刚刚起步。

该工艺可大幅度提高磨损部位的耐磨性能，由于金属陶瓷价格较低，可节约合金费用，是今后耐磨材料发展的一个方向。

目前在研发试用阶段，今后还有许多工作要做，期待发展越快越好。

(2) 消失模生产锤头的质量控制

1) 消失模生产锤头的实例

图6-1. 刷好涂料锰钢大锤头



图6-2. 消失模高锰钢大锤头在切割冒口



(河北海诚耐磨材料科技有限公司)



(郑州玉升公司四分厂)



(插合金柱的大锤头白模新疆阔龙生产)

2) 消失模生产锤头的质量控制

采用消失模可以生产各种类型的锤头,但消失模生产铸件易变形,易增碳,易产生夹杂;

消失模生产一定要采用相应的工艺措施,如先烧后浇,开通气道等.避免增碳,避免铸件中混入碳夹杂。(7)

(3) 采用V法生产锤头的质量控制

1) V法生产锤头的实例

图7-1.V法一箱4个465公斤大锤头 图7-2.V法生产一批465公斤锤头



(驻马店中集华骏铸造公司)

图7-2.V法铸造120公斤锤头



(江苏如皋苏北建机厂)

2) 采用V法生产大锤头的质量控制

采用V法生产大锤头效率高,外观质量好,浇冒口设计可与砂型铸造相同。

为解决干砂冷却慢的问题,可采用加合金柱等内冷铁;采用加入孕育剂变质剂方法细化晶粒;采用悬浮铸造等方法均化细化晶粒,进一步提高耐磨性能。

为解决扬尘问题,要加除尘设备;

适应批量大的铸件。

2.3. 奥氏体锰钢锤头热处理质量控制

2.3.1. 热处理的基本要求:

1) 入炉温度及升温速度:

由于高锰钢导热性能差,热膨胀系数大,锤头厚度大,加热时很容易因为应力大而开裂.因此入炉温度要低.一般在150℃入炉,均温一小时后,以80-100℃/1小时的速度升温到650-700℃保温1-3小时,可消除铸造应力,减少壁厚件内外温度差,使金属从弹性状态进入塑性状态.进入塑性状态后可以120-150℃/h的速度或随炉升温到固溶温度。

2) 固溶温度和保温时间:

固溶处理的温度确定是根据使碳化物充分分解,其分解产物一碳及合金元素固溶到奥氏体,并在奥氏体中扩散得到成分尽可能均匀的合金化奥氏体.一般加热到1000℃碳化物(Fe, Mn)3C即可全部分解,为了加速度分解、溶解和扩散,促进成分均匀化,固溶温度定为1050-1100℃.温度超过1050℃奥氏体晶粒开始长大,超过1150℃奥氏体晶粒粗大,出现过热组织.作为ZGMn13Cr2VTiRE 和ZGMn17Cr2MoVTiNbRE由于含有多种合金元素,形成的特殊碳化物不易分解、溶解和扩散,固溶温度可提高到1080-1120℃.保温时间根据铸件厚度、化学成分、固溶温度等因素确定.经验数据是每25毫米厚保温1小时,加入合金元素多要延长保温时间0.5-1.5小时。

3) 水韧冷却

冷却的目的是得到过冷奥氏体,即把高温奥氏体组织保留到室温.根据相变分析,960℃即开始有碳化物从奥氏体中析出,因此奥氏体锰钢锤头要在960℃以上入水.由于30秒将降温度70-90℃,从打开炉门到锤头入水要控制在30秒内,保证锤头在960℃以上入水.水量应为锤头的10-12倍;水温要低于30℃,处理后水温应小于60℃,用以保证奥氏体锰钢固溶处理每30℃的冷却速度。

4) 具体热处理工艺:

(1) 升温速度:

从150℃开始以每小时80-100℃的升温速度,升到680℃保温1-2小时,然后以每小时120-150℃的速度升温(或随炉升温)到1060-1100℃;

(2) 淬火温度:

在1060-1100℃保温3-4小时,按铸件厚度每25毫米保温一小时计算,根据装炉情况适当延长保温时间;

(3) 淬火介质:

应为20-40℃流动的水;铸件要在35-40秒内入水,入水时铸件温度必须大于960℃,否则易析出碳化物使铸件开裂;

2.3.2 热处理现场情况如图

采用台车式热处理炉,装炉前每个锤头隔开一定距离排列好,出炉时迅速插钢棒吊起放如水池中,来回摆动.这样处理冷却均匀,效果良好,但操作麻烦要细心.具体操作如图8.

图8-1. 大锤头出炉

图8-2. 吊起的锤头准备入水

图8-3. 锤头在水中摆动



图8锤头都是有罩式热处理炉.具有高效节能,炉内温度均匀,氧化脱碳少等优点;

采用图8的方法锤头受热均匀,淬入水中冷却均匀,是淬火最好的方法之一。

3. 锤头双金属复合铸造的质量控制

3.1 镶铸-机械复合铸造

1) 铸造的锤柄

镶铸-机械复合铸造的锤柄采用35#、45#铸钢及低碳合金钢，结合部位镂空并作成适当的锥度及反燕尾型，以保证结合强度。锤柄采用消失模铸造，表面光滑复合性能好。普通铸造的锤柄，必须打模光滑，浇注高铬铸铁前，锤柄要预热到200℃以上，以便良好复合。部分锤柄的形状如图9。(9)

图9-1. 铸造45#铸钢锤柄



图9-2. 消失模铸造锤柄



图9-3. 铸造合金钢锤柄



9.4. 烘干消失模复合锤头



9.5. 消失模复合锤头成品



2) 复合锤头的化学成分设计(与双液双金属相同)

化学成分设计范围如表5。

表5. 化学成分设计范围(%)：

元素	C	Mn	Si	Cr	Mo	Cu	Ni	V	Ti	RE	备注
范围	2.4/3.0	0.7/1.0	0.3/0.7	18.0/21.0	0.5/1.0	0.6/1.2	0.3/0.7	+0.4	+0.3	+0.25	锤头
配料	2.6	0.9	0.50	19.0	0.6	0.7	0.5	+0.4 0	+0.3	+0.25	
范围	0.30- 0.40	0.8/1.4 1.2	0.8/1.0 0.9	1.0-1.5 1.2	0.2-0.3 0.25	0.3 0.25	0.3 0.25	0.20/ 0.4	-0.10 +0.10	+0.25 +0.25	锤柄
配料	0.35						0.25	+0.2			

3) 锤头的磨损部位

机械复合铸造锤头的磨损部位采用Cr15或Cr18高铬铸铁。锤柄起内冷铁作用，并有效的降低高铬铸铁加入量，提高出品率，降低成本。锤头铸造工艺如图10。部分复合锤头成品如图10。

图10-1. 铸造锤柄一箱10个锤头 图10-2. 消失模铸造锤柄的高铬锤头



镶铸-机械复合铸造的锤头，适合50公斤以下的各类锤头，使用寿命是高锰钢的三倍以上，生产方法比较简单，效率高，成本较低。许多单位在生产。但工艺操作要细心，避免使用中脱落及开裂。(9)

3.2. 双液双金属复合铸造的质量控制

1) 双液双金属复合铸造基本原理

双液双金属复合铸造是采用两个炉体, 分别熔炼合金钢及耐磨高铬铸铁, 铸型开设两套浇注系统, 分别定量先浇入合金钢, 后浇耐磨高铬铸铁, 并加保温冒口补缩。

为保证结合面为冶金结合, 要控制好浇注温度, 结合面大的要加入防氧化剂。两种材料的化学成分如表5

金属双液复合铸造示意图如图11。(9)

2) 金属双液复合铸造示意图如图11 (9)

图11-1. 铸造工艺示意图



图11-2. 实际铸造工艺



这种工艺在上世纪90年代, 由沈阳铸造所的科技人员在山东临沂与山东临沂市特钢厂首先研制成功, 近年来临沂旭龙, 圣龙, 天阔等厂进一步发展, 目前在河南, 河北, 浙江, 黑龙江等地多有生产。中小锤头使用可靠, 使用寿命是高锰钢的三倍以上; 120公斤以上的大锤头, 要根据使用的工况条件合理使用。才能保证使用安全可靠。

3) 双液双金属复合铸造实际工艺质量控制

12-1. 型板造型



12-2水玻璃石英砂二氧化碳硬化铸型



图13-1. 125公斤复合锤头



图13-2. 复合大锤头及熟料锤头



双液双金属复合铸造实际生产工艺在基本原理的基础上, 已经发展有多种形式, 图12为一个厂的生产工艺; 图13为双液双金属复合铸造锤头产品。

4) 消失模双液双金属质量控制



5) 化学成分设计

化学成分严格按照表5执行

6) 锤柄合金钢熔炼工艺

(1) 炉底加入炉料2%的熟石灰及0.04%的萤石, 前期脱磷, 加入萤石稀释炉渣;

(2) 加料顺序: 先加废钢, 铬铁中、后期分批加入; 作为沉淀脱氧剂高碳锰铁出钢前10分钟加入; 硅铁出钢前7分钟加入;

(3) 在钢熔清后深插铝0.15%预脱氧, 用硅钙终脱氧, 另0.05%铝放在浇包中; 出钢温度1620-1650℃;

(4) 钢包用慢火烘烤到700℃左右; 钛铁、稀土和硼等破碎成3-5毫米小块用废纸包好放在浇包中, 加入量分别为0.25%-0.30%。冲入法熔入钢水中; 浇注温度1520-1580℃。

6) 锤头高铬铸铁熔炼工艺

1) 按照设计成分认真配料; 主要元素的相对收得率: C:-95% ; Cr:90-95% ; Mn :70-85% 。废钢、铁合金都要准确称重。

2) 装料熔化前要认真检查炉衬使用情况, 发现炉衬损伤、缺陷应进行修补然后再装料熔化, 损伤、缺陷严重应停止装料, 更换炉衬。

3) 装料顺序一般为大块物料应该装在靠近炉子塔壁, 小块炉料装在炉底和中间; 炉底可先加入少量碎玻璃再加回炉浇冒口等小块料大块炉料的空隙必须用小块炉料充填。炉料装的紧密, 则熔化快, 耗电量少。装料时必须停电操作, 以免发生人身事故。

4) 炉料应无锈、无油污; 铬铁应中后期分批加入, 锰铁在出水前7-10分钟加入; 硅铁在出水前4-6分钟加入; 稀土等微量元素变质剂放在包内, 采用冲入法。

5) 随着炉料的不断熔化, 应及时捣料, 防止炉料搭接及液面结壳, 一旦液面结壳, 可将炉体倾斜一定角度, 用已经熔化的铁水将表层结壳熔化。

6) 全部熔化后取化验C, Cr; 根据化验结果调整成分, 铁水出炉温度为1520-1560℃, 浇注温度为1430-1460℃。

7) 浇注时要保持铁水温度, 做好挡渣、引气等工作。

7) 双液双金属复合锤头热处理工艺

均化预处理

- 1) 升温速度：从150℃开始以每小时80-100℃的升温速度，升到680℃保温1-2小时，然后以每小时120-150℃的速度升温（或随炉升温）到980±10℃；
- 2) 均化预处理温度：在980±10℃保温3-4小时，按铸件厚度每25毫米保温一小时计算，根据装炉情况适当延长保温时间；
- 3) 出炉：炉内冷至600℃，出炉空冷。

淬火热处理

- 1) 升温速度：从150℃开始以每小时80-100℃的升温速度，升到680℃保温1-2小时，然后以每小时120-150℃的速度升温（或随炉升温）到1020℃；
- 2) 淬火温度：在1030±10℃保温3-4小时，按铸件厚度每25毫米保温一小时计算，根据装炉情况适当延长保温时间；
- 3) 淬火介质：采用喷雾风冷，喷雾1-2分钟，风冷18-20分钟，铸件200℃以下停风，装炉立即回火；
- 4) 采用轴流风机，风量：2万立方米/1小时（2万 m^3/h ）；风压：300kpa；转速：2940转/分；功率：2.5/3.0kw；

回火热处理：

- 当淬火硬度HRC 62时，采取温度280-300℃保温4-5小时空冷回火；当淬火硬度HRC 62时，采取温度480-520℃保温4-5小时空冷回火；
- 低温回火组织为回火马氏体加碳化物及残余奥氏体，高温回火可使残余奥氏体转变成马氏体，提高硬度和韧性。

各阶段低温升温速度一定要缓慢，避免铸件开裂；淬火温度范围980-1030℃，实践中根据化学成分及铸件厚度确定。

8) 双液复合质量差使用不当破碎的锤头

双金属锤头在河北禹州灵威使用的断裂情况。

据操作工人说：锤头能用2-3个月，但经常出现断的、烂块的（2010.10.19.）。断裂情况如图14

图14-1. 从头部高铬铸铁处断



图14-2. 从结合面外处断



双液双金属复合铸造锤头，生产中要严格按照操作工艺执行，确保产品质量；

该锤头在中小锤头使用可靠，使用寿命是高锰钢的3倍以上；但对于120公斤以上大锤头，由于破碎的物料大，冲击力大高铬铸铁易掉块剥落断裂。如果破碎的物料块度适宜，水分较大，粘土含量较多，采用双液双金属复合铸造锤头，使用效果好；

需要供销人员深入矿山了解矿石的具体情况在确定提供那种锤头。

4.其他生产方法的破碎机锤头

4.1 锤头磨损部位堆焊耐磨合金

锤头磨损部位堆焊耐磨合金(5)。

针对锤头复杂的工况条件，既受到强烈的冲击磨损，又受到剧烈的磨粒犁削磨损，要求锤头既要有良好的韧性，又要有优良的耐磨性。国内锤头多采用高锰钢(ZGMn13Cr2)或超高锰钢(ZGMn18Cr2)铸造。在新锤头端面 and 侧面(打击面)先堆焊3-5毫米的高合金耐磨堆焊材料，如TM55焊条或MD501耐磨堆焊药芯焊丝，提高使用寿命30%-100%。对已经磨损的高锰钢锤头一般采用高锰钢类耐磨堆焊材料或耐磨堆焊焊条及相应的焊接工艺进行堆焊。(5)

图15-1为两侧堆焊过高合金耐磨材料的高锰钢大锤头；图15-2为使用过的堆焊锤头；图15-3，图15-4为一批使用过的堆焊锤头。

图15-1. 堆焊高合金高锰钢大锤头



图15-2. 一批堆焊锤头



图15-3. 使用过的堆焊锤头



图15-4. 一批使用过的堆焊锤头



前些年有的单位在锤头磨损部位堆焊高耐磨合金。对于破碎中小粒径矿石效果明显，对于破碎大块硬质物料，易将堆焊部分打掉，使用效果不明显，近年很少应用。

同时堆焊是否牢固，耐磨性能是否优异，与焊接工艺及采用的焊料都有很大关系。

4.2 离心复合铸造锤头

1) 主要特点：

- (1) 先离心定量浇注高铬铸铁锤头部分，再离心定量浇注合金钢锤柄部分；
- (2) 两个炉体在轨道上可以来回移动；
- (3) 浇注压头高，可强力补缩；
- (4) 离心机转动时生产振动，对细化晶粒有利。

2) 生产设备及部分产品

目前已经小批量生产，值得关注。图16为其生产设备及部分产品。

图16-1. 两台可移动的中频炉



图16-2. 先定量浇合金钢再浇高铬



图16-3. 浇铸结束的铸型



图16-4. 离心复合铸造不同规格的锤头



离心复合铸造锤头目前在试生产中，工艺在完善，在中小锤头已经效果明显，期待有进一步发展。

4.3 低碳合金耐磨钢的大锤头

2005年由北京科技大学材料学院赵爱民教授研制的低碳合金耐磨钢的大型锤头(10)

出口美国用于粉碎废旧汽车如下图:

美国用于粉碎废旧汽车的大锤头
(单个锤头重212kg, 厚度120mm, 长度约600mm)



1) 化学成分设计

化学成分设计如表5。

表5. 化学成分设计(%) :

元素	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	P, S	V, Ti, RE
范围	0.2-0.3	0.2-0.4	1.0-2.0	1.5-2.0	0.1-0.3	0.1-0.3	<0.04	微量
配料	0.25	0.30	1.50	1.80	0.25	0.25	<0.035	微量

2) 砂型铸造工艺如下图



缓流封闭式的浇注系统, 横浇道上安放过滤网

3) 热处理操作

热处理实际操作如图17。

图17-1. 吊出一个锤头淬火



图17-3. 在水玻璃液中淬火



图17-2. 一排三个锤头待淬火



图17-4. 吊出一个锤头在淬火



4) 效果分析

低合金耐磨钢经淬火+回火热处理后, 其组织为马氏体或马氏体/下贝氏体的复相组织。锤头工作部位具有高的硬度HRC>48、足够的冲击韧性 $a_k > 40 \text{ J/cm}^2$ 和较好的延伸率 $\delta > 8\%$ 以及抗拉强度 $\sigma_b > 1500 \text{ MPa}$, 耐磨性是普通高锰钢的1.55倍以上低合金耐磨钢的合金加入量较少, 经济合算; 采用特殊的水玻璃淬火液, 安全实用易于推广和应用, 具有明显的经济与社会效益。

近年来有些单位在生产低碳低合金钢120公斤的大锤头, 但推广力度不大, 其安全可靠不如高锰钢。比高锰钢提高寿命幅度不大。

4. 4组合式锤头

1) 实例

国外组合式锤头如图18-1, 国内组合式锤头是由郑州鼎盛首创的三明治组合锤头及合肥水泥研究设计院研制的三合一组合锤头, 如图18-2。锤头与锤柄的连接方式合理, 锤头使用寿命大幅提高。

图18-1. 国外组合锤头示意图



图18-2. 国内三合一组合锤头



2) 效果分析

从图24-1可见,国外组合式锤头锤柄采用高韧性合金钢,使用安全可靠,锤头为高铬铸铁或高合金耐磨材料,用耐磨螺栓固定。锤头磨损后可以更换,安装更换方便。前些年多有报道,但国内很少采用。

从图24-2可见国内三合一组合锤头,锤柄为铸造合金钢,锤头为高铬铸铁,中间楔块上堆焊硬质合金,用螺栓固定,成为三合一组合锤头。锤头与锤柄的连接方式更为合理。许多新型的细碎机,反机锤式破碎机都在采用,整套锤头使用寿命可大幅提高。

多年来生产实践证明三合一组合锤头使用安全可靠,使用寿命成数倍增长,类似结构的组合锤头,许多单位在生产,在使用,有广阔的发展空间。

5. 结语

1) 根据锤头的使用工况条件,进行磨损失效分析,是合理选择锤头的耐磨材料和正确选择锤头的生产方法的前提。

2) 125公斤以上大锤头由于受冲击力大一冲击凿削磨损为主,应该选择高锰钢生产,它韧性好,安全可靠,同时能够充分发挥加工硬化性能,耐磨性能好。但是一定要严格按生产工艺执行。化学成分锰碳(Mn/C)比要大于10;含磷(P)量要小于0.045%;加入2.0%左右的铬,提高屈服强度,加入钒,钛稀土硼等孕育剂变质剂,细化晶粒,提高耐磨性。

热处理由于加入一些合金元素,淬火温度有提高到1080-1100℃,铸型工艺根据自身生产条件选择合适的工艺。

3) 砂型铸造及V法铸造要采用保温发热冒口放在锤头顶部,底部及磨损部位周围放成型外冷铁的生产工艺,既有利于补缩,又细化磨损部位的晶粒,提高耐磨性,值得广泛应用。

4) 锤头磨损部位堆焊高耐磨合金。对于破碎中小粒径矿石效果明显,对于破碎大块硬质物料,易将堆焊部分打掉,使用效果不明显。工艺比较简单,但每个锤头磨损面都要进行堆焊,焊后要及时回火,消除焊接应力,操作比较复杂。

同时堆焊是否牢固,耐磨性能是否优异,既与焊接工艺及采用的焊料都有很大关系,又与使用的工况条件有关,近年很少应用。

5) 锤头磨损部位铸渗金属陶瓷新工艺。该工艺可大幅度提高磨损部位的耐磨性能;由于金属陶瓷价格较低,可节约合金费用,是今后耐磨材料发展的一个方向。目前在研发试用阶段,今后还有许多工作要做,期待发展越快越好。

6) 高锰钢或合金钢镶铸硬质合金柱的工艺,合金柱的加入相当植入内冷铁,细化晶粒,特别是合金柱是磨损部位的硬质点大大提高耐磨性,使用寿命会大幅度提高,使用安全可靠,许多单位在生产,125公斤大锤头都在采用,该工艺有一定发展空间。

7) 消失模生产锤头生产效率高,外观质量好,但存在表面增碳,易产生夹渣等弊端,为确保内在质量好要采取相应工艺措施,如先浇后烧,加合金柱,加内冷铁等。许多企业采取相应措施已确保内在质量完好,今后会有进一步发展。

8) 采用V法生产大锤头效率高,外观质量好,浇冒口设计可与砂型铸造相同,为解决干砂冷却慢的问题,可采用加合金柱等内冷铁;采用加入孕育剂变质剂方法细化晶粒;采用悬浮铸造等方法均化细化晶粒,进一步提高耐磨性能。是一种有发展前途的生产方法。

9) 镶铸-机械复合铸造的锤头,适合50公斤以下的各类锤头,使用寿命是高锰钢的三倍以上,生产方法比较简单,效率高,成本较低。但工艺操作要细心,锤柄要采用中,低碳合金钢,与锤头结合部分要打磨光滑,浇铸高铬耐磨铸铁前要充分预热,以便结合良好,避免使用中脱落及开裂。

10) 双液双金属复合铸造锤头,在中小锤头使用可靠,使用寿命是高锰钢的3倍以上;但对于120公斤以上大锤头,由于破碎的物料大,冲击力大高铬铸铁易剥落,掉块,断裂。如果破碎的物料块度适宜,水分较大,粘土含量较多,采用双液双金属复合铸造锤头,使用效果好;这需要供销人员深入到矿山,了解矿石的具体情况然后再确定提供哪种锤头。使用单位也要根据自己破碎矿石的具体工况条件选择合适的锤头,选择双液双金属复合铸造锤头要慎重。

11) 离心复合铸造锤头目前在试生产中,工艺在完善,在中小锤头已经效果明显,期待有进一步发展。

12) 低碳低合金钢120公斤的大锤头,近年来有些单位在生产,使用合金量少,成本较低,但其使用可靠性不如高锰钢。比高锰钢提高寿命幅度不大,因此推广力度不大。

13) 生产实践证明三合一组合锤头使用安全可靠,使用寿命成数倍增长,类似结构的组合锤头,许多单位在生产,有广阔的发展空间。

建议:

1) 10公斤以下细碎机小锤头可以采用合金钢或低碳高韧性高铬铸铁,用各种方法整体铸造都可以。

2) 10-50公斤中碎机中小锤头采用镶铸-机械复合铸造,双液双金属复合铸造均可以,前者生产较方便,认真操作,质量可靠;后者生产较复杂,质量更可靠。50-120公斤采用双液双金属复合铸造锤头,一定要根据矿石的工况条件是否合适,在提供或选用该种锤头,安全可靠第一。

3) 120公斤以上大锤头建议选择高锰钢镶铸硬质合金柱生产的锤头,今后随着锤头磨损部位铸渗金属陶瓷新工艺的发展,是大锤头选用的一个重要方向,也是今后耐磨材料发展的一个方向。

根据多年工作实践编写,不当之处欢迎批评指正。

参考文献:

- (1) 新型干法水泥工业装备与材料(P653)-新型干法水泥实用技术全书-中国建筑工业出版社
- (2) 锤式破碎机锤头磨损失效分析(P76)-—————磨损失效分析案例汇集—机械工业出版社
- (3) 化学成分对大型高锰钢锤头组织和性能的影响-周立刚等(P156)—————2008年全国耐磨材料应用技术交流会论文
- (4) 大型锤式破碎机锰钢大锤头生产制造现状浅析——李茂林—第三届水泥耐磨会论文集
- (5) 金属耐磨堆焊—————耐磨材料应用手册—机械工业出版社2012. 10. 第二版
P620, P639
- (6) 新型陶瓷-金属基复合材料制备技术及其产业化应用-广州有色院 西安交大-郑开宏
2011. 8
- (7) 我国用消失模生产耐磨铸件评介—— 李茂林-第三届耐磨铸件年会论文集(2012. 12. 05.)
p53
- (8) 我国用V法生产耐磨铸件评介—— 李茂林-第三届耐磨铸件年会论文集(2012. 12. 05.)
p42
- (9) 破碎机锤头耐磨材料选择和生产工艺探讨—李茂林-第十一届全国耐磨材料论文集P346
(2006. 10. 06.)
- (10) 低合金耐磨钢大型锤头的研制—————北京科技大学-赵爱民—鞍山耐磨会议
(2005. 05. 25.)

化学**成分** (固态) (**客观**) + 工艺 (主观) =

金相**组织**→机械**性能**

(如: 耐磨性、磨损量、磨耗量、 R_m 、
 A 、 Z 、 K_{V2} 、 K_{U2} 、 K_{N2} 、 HRC、HRB、HRA、HV
、HM 、HBW、HBS)