

# ASTM A487 - 4B材料大截面试块机械性能研究及应用\*

蒋春宏

(兰州石油机械设备有限公司,甘肃 兰州 730050)

摘要:按照 API规范生产泥浆泵曲轴铸件,必须进行大截面试块机械性能的材料评定。通过优化化学成分,介绍采用钢包底吹氩精炼方式,不断调整热处理工艺,特别是亚温淬火的实施,保证了材料评定要求的机械性能。

关键词:试块;成分匹配;精炼;淬火;性能

中图分类号: TG162

文献标识码: A

文章编号: 1007 - 4414 (2006) 02 - 0023 - 02

## Research and application for mechanical property of large section coupon on ASTM A487 - 4B alloy steel

Jiang Chun - hong

(Lanzhou petroleum & machinery equipment Co , Ltd, Lanzhou Gansu 730050, China)

Abstract: To produce Mud Pump castings per API specification, the material must carry out material qualification of large section coupon mechanical property. We pass through fining chemical composition. Using blowing argon refining at ladle bottom, adjusting heat treatment continuously, especially sub - temperature quench carried out, so that required mechanical property get meet for material qualification.

Key words: coupon; mating chemical composition; refining; quench; mechanical property

我厂主要为 NOW (National Oil Well 美国国民油井公司) 提供配套铸钢件,其中泥浆泵曲轴铸件根据美标规范,采用 ASTM A487 - 4B 承压钢材料,不仅内外质量需求高,且验收按 15 × 15 × 5 大截面试块的机械性能,特别是 - 20 的夏比冲击值要求达到 42J,常规铸造、冶炼、热处理工艺难以保证。笔者通过改善铸造组织,提高其淬透性作为主要工艺手段来达到机械

性能的研发概况进行评述。

### 1 试验内容

#### 1.1 材料

材料选用 ASTM A487 - 4B 承压钢规范,并进行调整。

- (1) 确定材料化学成分 表 1 为材料化学成分数据。
- (2) 性能检验 性能要求。

表 1 材料化学成分

C	Mn	Cr	Ni	Mo	Si	P	S
0.23 ~ 0.28	0.70 ~ 1.00	0.40 ~ 0.80	0.40 ~ 0.80	0.15 ~ 0.30	0.30 ~ 0.60	0.025	0.025

按照采购规范 MS - 3144 (MS - 7144) 要求:

$\sigma_s$ : 85KPSI (586MPa)       $\sigma_b$ : 105KPSI (724MPa)

$\delta_4$ : 17%       $\psi$ : 35%

HB: 217 - 269      冲击: (- 20 ) 夏比 "V" AKV 42J  
(单个试样 32J)

#### 检验取样

按照 ASTM E8 规范,拉伸试棒直径选用  $\phi 12.5$ mm,标距 4*d* 选用 50mm;夹头为 28mm,试棒总长度为 143mm;冲击试样截面选用 10 × 10mm,长度选用 55mm。

#### 1.2 材料评定大截面试块的尺寸选择,取样位置及尺寸、铸造工艺

(1) 尺寸选择 根据 MS - 7144 (MS3144) 规范要求,材料应按照 ASTM A781 规范的补充要求 S15 进行评定。试块尺寸为: 3T × 3T × T (当量壁厚),故大截面试块实际尺寸为 375 × 375 × 125mm (15 × 15 × 5)。试样取样位置在图 1 阴

影内,为保证最大限度地满足机械性能要求,又要符合在阴影内的取样规范,应尽量采用边缘效应。

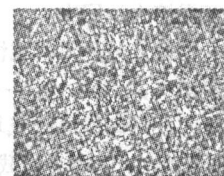
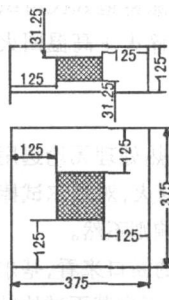


图 1 ASTM A781 大截面试样图

图 2 球状索氏体 + 铁素体 400 ×

- (2) 试块铸造工艺 该钢种系低碳型镍铬钼低合金钢,

\* 收稿日期: 2006 - 01 - 23

作者简介: 蒋春宏 (1971 - ), 男, 甘肃兰州人, 工程师, 从事铸造工艺和铸造材料的研究工作。

淬透性较差,其基体组织为球状索氏体 + 铁素体 (见图 2)。从中心阴影部位取样,根据国外资料介绍,机械性能指标会有大幅下降。考虑到尽量造成同时凝固的热力场,又避免中心部位过热,试块工艺采取顶冒口,浇口从边上底返。

## 2 评定过程

### 2.1 冶炼

#### (1) 元素匹配

碳:影响淬透性最大的元素,在低碳型低合金钢中尤为重要。所以碳选用范围中的高限。

锰:影响淬透性较大的元素,但其含量高导致裂纹倾向性大,为此,锰的范围选用中限偏低。

镍:提高材料强度和塑性的最佳元素,应选用至最高限范围内。

硅:提高元素强度的元素,硅对钢液脱氧有利。铸造用钢一般比轧钢选用的硅偏高。硅选用在中值。

铬:提高材料强度和淬透性的较佳合金元素,但过高会出现脆性断口,故选用在中高范围内。

钼:细化晶粒,提高强度的极佳元素,且当与镍的配比为 Ni:Mo=3:1 时就会有效防止镍的回火脆性。当然该钢种 Ni 含量在 0.4% ~ 0.8% 内,对回火脆性影响较小。故钼的含量选用在高限。

磷和硫:钢中有害杂质元素,磷引起冷脆,硫引起热脆。所以磷、硫含量应越低越好。

#### (2) 冶炼化学成分控制

为达到最佳机械性能,特制定化学成分内控要求:

C: 0.26% ~ 0.30%	目标值 0.28%
Mn: 0.75% ~ 0.85%	目标值 0.80%
Si: 0.4% ~ 0.6%	目标值 0.55%
Ni: 0.7% ~ 0.8%	目标值尽量向 0.8% 靠拢
Cr: 0.60% ~ 0.70%	目标值 0.65%
P 和 S: 0.025	目标值 0.015
Cu (残): 0.30%	[FeO]: 50%

#### (3) 冶炼工艺

采用较常规的冶炼方法。欲达到规范要求的力学性能难度很大。一般来说,需要按大截面试块验收的产品,相配套的技术条件。往往指定要求采用精炼方法 (常指 AOD 或 VOD),所选用的工艺方法为电弧炉熔炼,出钢后结合钢包底吹氩精炼方式,以达到除 S、P,去夹杂的效果。

### 2.2 化学成分及夹杂物评定结果

实践证明,通过严格工艺操作后,钢液得到净化,P、S 含量都在 0.013% 以下。实验两炉成品检测成分如下表 2 所示。

表 2 两炉成品检测成分

编号	化学成分 %									
	C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	P	S	Cu	[FeO]
C-05-001	0.29	0.80	0.52	0.77	0.63	0.26	0.009	0.010	0.13	41
C-05-002	0.30	0.79	0.50	0.77	0.61	0.29	0.011	0.007	0.14	43

化学成分评定结果能满足 ASTM A487 - 4B 承压钢的规范要求。

夹杂物检验结果:

脆性夹杂物 1.17 ~ 1.25 级 塑性夹杂物 0.13 级

### 2.3 热处理

#### (1) 热处理工艺路线

预备热处理:大截面试块先进行消除铸造魏氏组织的退火及正火处理。调质处理:随后进行淬火 + 高温回火及随后的亚温淬火 + 回火。

#### (2) 预备热处理对机械性能的影响

试验证明,ASTM A487 - 4B 钢种预备热处理无论选用常规退火工艺还是高温退火或均匀化扩散退火,对基尔试棒的机械性能影响小;然而对大截面试块的影响则不然。

小于 950 退火的试样,从拉伸试棒的断口来看,基尔试棒的断口有明显缩颈和韧窝,断口呈黑色;而大截面试块的试棒断口为 45 斜面的脆性断口,无明显缩颈,呈颗粒形沿奥氏体晶界断裂的灰白色断口。从高倍金相显微镜 (×800) 下观察,奥氏体晶界面上有黑色网状组织,还有黑色颗粒点,疑似 Mo 或 Mo 的化合物,说明合金元素没有很好地溶入奥氏体晶界内,发挥其作用,有的沿晶界面析出,造成塑性性能和过低的原因。大于 1000 退火的试样,经金相分析,芯部晶粒粗大加剧,大截面试块的强度和塑性性能都有不同程度下降。

通过 3 次正交试验对比,对 ASTM A487 - 4B 15 × 15 ×

5 大截面试块的预备热处理采用 970 高温退火获得成功。

#### (3) AC1 - AC3 亚温淬火,使奥氏体晶粒超细化

常规热处理,加热多以平衡组织为原始组织,而不用非平衡组织直接加热奥氏体化。因为非平衡组织加热奥氏体化易出现晶粒粗化,或发生所谓“遗传”缺点之故。但根据最近有关研究,直接加热非平衡组织奥氏体化,若控制得当,不仅避免奥氏体晶粒“遗传”,而且能有效细化晶粒,提高钢的强韧性,并强化奥氏体合金。例如,将马氏体直接加热到 AC1 - AC3 之间 + 两相区高温侧进行部分奥氏体化,利用马氏体形核率高的特点,可使奥氏体晶粒显著细化。另外,由于产生回火脆的元素 P、Sb、Sn 等向剩余铁素体中富集等原因,可大大提高钢在淬火及高温回火后的韧性,特别是显著改善低温韧性。如果反复利用 M<sub>1</sub> - M<sub>2</sub> 的热循环相变,可使奥氏体晶粒超细化。

参照上述研究结果,对基尔试棒和大截面试块进行常规调质外再进行亚温淬火试验。选取 830 亚温淬火 + 590/610 回火,由表 3 可见,亚温淬火后机械性能有提高而没恶化。

## 3 结论

合理的化学成分匹配是保证大截面试块淬透性的基本依据。铸造工艺对大截面试块凝固组织的影响同时反映到

(下转第 28 页)

$Q_i$  及非线性函数  $P_i$  组成的非线性规划问题。普通的非线性规划法无法求解,一般采用对  $\mu_i$  和  $Q_i$  交替求解的方法。即选取多组不同  $\mu_i$ ,分别对  $Q_i$  进行优化计算,最后通过比较不同  $\mu_i$  下的总耗电功率值,总耗电功率的最小为最优方案<sup>[2]</sup>。显然,当并联运行的泵多于 3 台时,该方法计算较繁索。为一次性得出最优方案,可采用离散动态规划法进行优化求解。其求解步骤为:由泵站要求的扬程  $H_0$  反推出每台泵的流量  $Q_i$ ;选择状态函数  $\mu_i$  进行排列组合;通过比较各排列组合的总耗电功率,得出最优组合,即总耗电功率最低的组合。

以厂二级泵站采用 1 台 S15050A 型泵(即 1<sup>#</sup>泵)和 1 台 200S42 型泵型(即 2<sup>#</sup>泵),泵通过公共节点联合向管网供水,查产品样本资料<sup>[3]</sup>所得的泵性能参数如表 1 和表 2 所示。该泵站所需的水压和流量要求达到  $H_0 = 30\text{m}, Q = 120.57\text{L/s}$

表 1 150S50A 型泵 (1<sup>#</sup>泵)性能参数

流量 $Q_1$ (L/s)	24.0	28.0	31.0	34.0	40.0	45.0	50.0	55.0	60.0
扬程 $H_1$ (m)	47.5	46.5	44.0	43.3	40.0	37.5	25.0	32.5	29.6
功率 $P_1$ (kW)	16.3	17.5	18.5	19.5	20.9	22.0	23.2	24.5	26.2

表 2 200S42 型泵 (2<sup>#</sup>泵)性能参数

流量 $Q_2$ (L/s)	45.0	50.0	55.0	60.0	70.0	78.0	85.0	95.0	105.0
扬程 $H_2$ (m)	52.5	51.3	50.0	48.0	45.2	42.0	38.7	35.0	30.2
功率 $P_2$ (kW)	31.7	32.8	33.8	34.9	37.0	37.7	38.0	40.2	41.2

对于泵的性能曲线,一般采用二次、三次或四次多项式按最小二乘法进行曲线拟合。计算表明,对于表 1 和表 2 的数据采用三次曲线拟合较好, S15050A 型泵和 200S42 型泵扬程  $H_i$ 、功率  $P_i$  的表达式分别为:

$$H_1 = 54.329 - 1.1936Q_1 - 7.9038 \times 10^{-3}Q_1^2 + 5.0553 \times 10^{-5}Q_1^3$$

$$P_1 = -1.1450 + 1.1518Q_1 - 2.1456 \times 10^{-2}Q_1^2 + 1.6553 \times 10^{-4}Q_1^3$$

$$H_2 = 57.1459 - 5.7868 \times 10^{-2}Q_2 - 3.9915 \times 10^{-3}Q_2^2 + 9.5318 \times 10^{-6}Q_2^3$$

$$P_2 = 10.4050 + 0.73842Q_2 - 7.2082 \times 10^{-3}Q_2^2 + 2.8338 \times 10^{-5}Q_2^3$$

计算表明,扬程和功率表达式的计算值与表中数据的相对误差小于 2%,利用上述优化数学模型,采用离散动态规划法可求得供水泵站各水泵的最佳流量分配及总耗电功率大小。优化运行方案和原运行方案的计算结果如表 3 所示。计算结果表明,采用优化调度方法年节约电能 =  $(60.75 - 57.77)\text{kW} \times 24\text{h/d} \times 365\text{d} = 26104.8\text{kW} \cdot \text{h}$ ,其节能效果明显。

#### 4 最优启停泵

当需水量变化时,根据状态函数  $\mu_i$  的计算值,便于确定泵站各泵的最优启停顺序。若  $\mu_i = 0$ ,则该泵停止运行;若  $\mu_i = 1$ ,则该泵运行。

表 3 运行方案比较

原方案				优化方案				年节电量 kW·h	
1 <sup>#</sup> 泵		2 <sup>#</sup> 泵		总功率 P (kW)	1 <sup>#</sup> 泵		2 <sup>#</sup> 泵		总功率 P (kW)
流量 $Q_1$	功率 $P_1$	流量 $Q_2$	功率 $P_2$	60.75	流量 $Q_1$	功率 $P_1$	流量 $Q_2$	功率 $P_2$	57.77
(L/s)	(kW)	(L/s)	(kW)		(L/s)	(kW)	(L/s)	(kW)	
55.60	25.02	64.97	35.73		30.01	18.57	90.56	39.20	

#### 5 结论

(1) 笔者提出的优化运行数学模型,不仅能在满足一定流量和扬程的条件下,解决并联运行的多台水泵的最佳流量分配问题;还解决在流量变化的情况下,水泵并联的泵站最优启停运行方法。

(2) 实例计算表明,笔者提出的优化运行方案以总耗电功率作为目标函数,使泵处于最优状态下运行,减少耗电量,提高泵站的运行经济性。

#### 参考文献:

- [1] 姜乃昌. 水泵和水泵站 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1986.
- [2] 洪波. 火电厂并联运行锅炉给水泵的优化运行 [J]. 水泵技术, 1995(2): 16 - 21.
- [3] 机械电子工业部编. 泵类产品样子第一册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1990.
- [4] 关醒凡. 现代泵技术手册 [M]. 北京: 宇航出版社, 1995.

(上接第 24 页)

表 3 亚温淬火和未亚温热处理工艺机械性能比较

试棒号	机械性能					HB	热处理工艺
	$\sigma_s$ /MPa	$\sigma_b$ /MPa	$\delta_5$ /%	$\psi$ /%	AKV(-20) /J		
基尔试棒 1	690	825	22	55	66, 91, 75	255	未亚温
基尔试棒 2	750	860	22	56	101, 94, 92	262	亚温
大试块 1	580	735	16	32	41, 40, 35	235	未亚温
大试块 2	650	755	19	38	48, 52, 49	255	亚温

最终性能上。材料必须采取适当的精炼方式以去除有害元素及夹杂物。采取亚温淬火是保证和提高大截面试块机械

性能的有效方法。基尔试棒和大截面试块的机械性能差异是比较明显的。