42CrMoA 钢内燃机曲轴的电渣熔铸

张振国 汤 峰
(中原工学院材料与化学工程系,郑州 450007)

摘 要 42CrMoA 钢(%:0.34～0.49C,0.9～1.2Cr,0.15～0.25Mo)内燃机曲轴成品约重 1 t,用锻造生产其毛坯重 6.2 t,采用电渣熔铸-电渣熔焊法生产的坯重仅为 1.5 t。42CrMoA 钢电渣熔铸件化学成分均匀,纯净度较锻件高。在 8240 柴油机上装车使用结果表明,与锻钢曲轴相比,没有观察到表面磨损脱落,较好地解决了曲轴的磨损脱落问题。

关键词 电渣熔铸-熔焊 内燃机曲轴 42CrMoA 钢

Electroslag Remelting Casting of Steel 42CrMoA for Crankshafts of Diesel Engine

Zhang Zhenguo and Tang Feng
(Dept of material and Chemical Engineering, Zhongyuan Technology College, Zhengzhou 450007)

Abstract The weight of one crankshaft finished product of steel 42CrMoA (0.34～0.49C, 0.9～1.2Cr, 0.15～0.25Mo) for diesel engine is about 1 t, for which the weight of forging blank is 6.2 t, while the weight of electroslag remelting (ESR) casting-welding blank in only 1.5 t. The chemical composition of steel 42CrMoA ESR casting blank is uniform, of which the cleanliness is higher than that of forging blank. The results in service at 8240 diesel engine showed that as compared with forging crankshafts, there was no wear abrasion scaling observed to better resolve the problem about wear abrasion scaling off.

Material Index ESR Casting-Welding, Crankshaft of Diesel Engine, Steel 42CrMoA

电渣熔铸是集特种冶金、特种铸造等于一体的高新技术[1,2],具有精炼和成型两种功能。精炼可以大量去除钢中的非金属夹杂物及有害元素,得到成分均匀、组织致密的优质材料;成型可以一次生产出形状较为复杂的工件,进而缩短生产周期,降低生产成本,提高产品性能。因此,采用电渣熔铸工艺可以生产出高质量的曲轴毛坯。

1 大直径曲轴目前存在的问题

1.1 工序复杂,质量难以保证

锻钢机加工 8240 曲轴的生产工艺流程为:锻造毛坯(约 6.2 t,Φ500 mm×5 000 mm) →粗车(约 1.2 t) →调质(约 1 t) →半精车 →热定型 →精车 →粗磨 →中频硬化 →半精磨 →精磨 →探伤 →成品(约 0.9 t)。生产周期一般为 1 个月,而且,其中一个环节出现质量问题,整个工件全部报废。

1.2 材料利用率低

铸件废品率较高,铸造金属质量低,造成曲轴寿命短。而锻压成型的曲轴,由于毛坯尺寸很大,不仅需要庞大昂贵的锻压设备,而且锻造后经过机加工,金属的有效利用率最多只有 20 %。

1.3 化学成分偏析严重

锻造大直径曲轴,从自由端到输出端长达 5～6 m,会造成较大的成分偏析,有时甚至超过国家标准规定的成分范围。

2 电渣熔铸曲轴的生产工艺

2.1 材质及其化学成分

8240 内燃机曲轴的材质为 42CrMoA,其化学成分见表 1。成品结构简图见图 1。

表 1 8240 曲轴用 42CrMoA 钢的化学成分/ %
Table 1 Chemical composition of steel 42CrMoA for 8240 crankshafts / %

C	Si	Mn	S	P	Cr	Mo
0.34～0.49	0.20～0.40	0.5～0.8	≤0.03	≤0.03	0.9～1.2	0.15～0.25

2.2 工艺流程

生产工艺流程为:电弧炉浇注电极 →电极表面清理 →电渣熔铸毛坯 →电渣熔焊成型(约 1.5

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

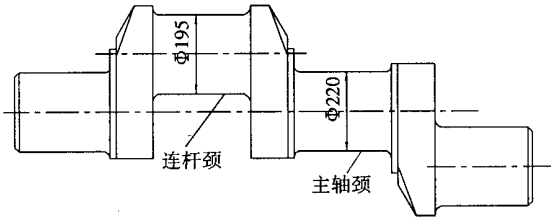


图 1　8240 内燃机曲轴成品简图

Fig. 1　Schematic of 8240 finished crankshaft for diesel engine

t) →退火处理 →粗加工 →调质 →精加工 →中频硬化 →精磨 →探伤 →成品(约 1 t)。

2.2.1　电渣熔铸工艺

在异型铜制水冷结晶器(铸型)内装有高温、高碱度熔渣(电渣),自耗电极的一端插渣池(见图 2(a))。

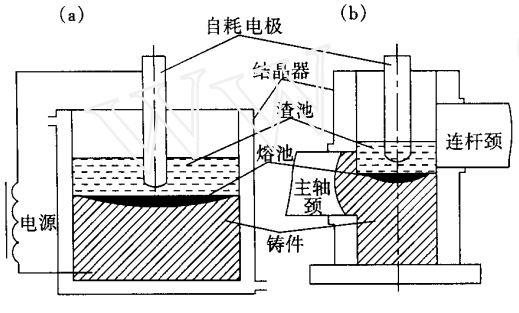


图 2　8240 曲轴电渣熔铸(a)和电渣熔焊(b)工艺示意图

Fig. 2　Technology schematic of ESR casting (a) and welding (b) for 8240 crankshafts

在熔铸开始时,首先在结晶器底部形成高为 100～200 mm 的熔渣层,既能导电,又有一定的渣阻。当接通电源的自耗电极浸入熔渣层中时,在渣池中形成强大的电流,产生的热量使熔渣的温度升高。当熔渣温度超过自耗电极的熔点时,自耗电极被熔化,熔化的钢水以液滴的形式从电极表面靠重力穿过渣池。在这一过程中,渣池将金属材料中的有害元素及夹杂物吸收,净化后的钢水在渣池底部汇成熔池,在循环水的强制冷却下凝固,形成铸件本体。

工艺包括熔铸、熔焊两个过程,同时,为了提高金属纯净度,因此选择统一的渣系。最后采用四元渣,其成分(%)为:20～30CaF_2,20～30Al_2O_3,15～20CaO,15～20MgO[3]。

电渣熔铸过程的电参数主要指冶炼电压和输入功率。冶炼电压在 40～50 V 范围内通过实验选取。功率输入范围要求较窄,输入功率过大或过小都给电渣熔铸带来不利影响,最后确定在 0.4 kVA/cm^2 左右。

2.2.2　电渣熔焊工艺

电渣熔铸出曲轴的输出端,自由端,主轴颈,连杆颈后,如图 2(b)所示,在根据曲柄臂形状设计的铜制水冷异型结晶器中,将一个主轴颈和连杆颈分别插在结晶器(铸型)的孔中,并固定好,在曲柄臂结晶器形成的空腔里重熔同材质的自耗电极,当曲柄臂熔铸成型时,便将主轴颈和连杆颈熔合在一起了,一同形成了曲轴的一个单拐。依此类推,电渣熔铸出其它拐,将整根曲轴毛坯分步熔铸出来。曲柄臂的结晶方向与曲轴受力方向一致,可提高曲轴的使用性能。

3　电渣熔铸曲轴的质量分析

从表 2 可见,电渣曲轴毛坯中的 C、P、Cr、Mo 等元素没有变化,只是 Si、Mn 略有烧损,S 的含量明显降低,上下成分范围很窄,说明电渣熔铸件化学成分均匀性很高。

采用相应的国家标准,评定电渣曲轴中的非金属夹杂物,电渣熔铸后铸件中的氧化物和硫化物的数量比自耗电极减少了 3/4～5/6,大于 5 μm 的夹杂物占夹杂物总量的 6%～7%,而自耗电极中大于 5 μm 的夹杂物占 25%,电渣熔铸金属中的氧化物总长度减少 2/3～4/5。

电渣曲轴中,氧化物的夹杂物及硫化物均是小块状,细小而分散分布,极少数成群。氮化物细小且少。这表明,电渣曲轴的金属内质的纯净度比锻造曲轴有显著提高(表 3)。

表 2　42CrMoA 钢曲轴用电渣熔铸件与锻件化学成分比较/ %

Table 2　Comparison of chemical compositions between forgings and ESR casting of steel 42CrMoA for crankshafts / %

类别	C	Si	Mn	S	P	Cr	Mo
GB3077-82	0.38～0.45	0.17～0.37	0.5～0.8	≤0.03	≤0.03	0.9～1.2	0.15～0.25
锻造曲轴	0.39～0.45	0.20～0.37	0.6～0.8	≤0.03	≤0.03	0.9～1.2	0.20～0.25
自耗电极	0.43	0.27	0.75	0.023	0.022	1.10	0.186
电渣曲轴	0.39～0.43	0.20～0.25	0.70～0.73	0.007～0.010	0.017～0.020	1.05～1.15	0.16～0.19

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 3 42CrMoA 钢曲轴用电渣熔铸件与锻件纯净度比较/级

Table 3 Comparison of cleanliness between forgings and ESR casting of steel 42CrMoA for crankshafts / rating

类别	脆性(氧化物)夹杂物	塑性(硫化物、硅酸盐)夹杂物	两项总和
GB3077-82	≤3	≤3	≤5.5
锻造曲轴	1～1.5	1～1.5	2～3
电渣曲轴	0.5	0.5	1

4 电渣熔铸曲轴的热处理及使用效果

电渣熔铸熔焊过程中,存在不同的熔接区,其冶金质量是主要生产问题。因此,对成型曲轴进行长时间的高温退火处理,温度为 930 ±10 ℃,时间为 15 h。退火后的硬度为 HB190～210。

按照传统的热处理工艺,曲轴在最终淬火前要经过调质处理。因此,电渣熔铸曲轴毛坯经粗加工后进行 850 ±10 ℃油淬,560 ±10 ℃回火的调质处理。调质后的机械性能见表 4,完全符合设计要求,而且各种性能指标均优于设计要求。

采用中频淬火机床、半圆型感应器以及 AQ251 淬火介质,按照传统的热处理工艺,进行中频硬化处理。其工艺参数如表 5 所示。

表 4 电渣熔铸曲轴毛坯经退火 + 调质后的机械性能

Table 4 Mechanical properties of annealed + quenched tempered ESR casting blank for crankshafts

类别	σ_b/ MPa	σ_s/ MPa	δ/ %	a_{ku}/ J·cm^2	HB
试样	809～817	638～700	13.9～16.1	62～67	251～257
锻钢曲轴设计要求	≥784	≥588	≥12	≥58.8	240～270

表 5 电渣熔铸曲轴中频硬化工艺参数

Table 5 Parameters of medium frequency quenching for ESR casting crankshafts

轴颈	电压/ V	电流/ A	功率/ kW	加热时间/ s	冷却时间/ s	淬火介质
主轴颈	750	210	150	70	50	15 %AQ251
连杆颈	780	200	150	60	50	15 %AQ251

注:回火工艺:360 ±10 ℃×10 h,空冷

电渣熔铸曲轴,在 8240 柴油机上进行了长时间的试验、装车使用,结果表明,与锻钢曲轴相比,没有观察到表面磨损脱落,说明较好解决了曲轴的磨损脱落问题。至于疲劳破坏,因柴油机运行的时间较短,目前无法定量说明,但电渣熔铸曲轴的各种力学性能(见表 4),表明曲轴具有较高的抗疲劳能力。

5 分析及讨论

5.1 曲轴失效问题

以 8240 柴油机曲轴为例,曲轴锻件的直径为 Φ500 mm,重量逾 6 t,用约 20 t 的钢锭锻造,尽管采用较大的锻造比,并在锻后进行长时间的高温扩散退火处理,但是,与较小尺寸的锻件相比,钢材内部的冶金缺陷,如偏析、疏松、非金属夹杂物等要更差一些,尤其是锻坯的轴心部分更是如此。而曲轴的各个轴颈都是从圆棒料中加工出来的,连杆颈的内侧正接近轴坯心部,处于坯料质量最差的部位,因此必然会影响到曲轴的冷热加工及使用性能,造成疲劳破坏和表面的严重磨损脱落。而采用电渣熔铸工艺生产的曲轴,由于其特殊的熔铸条件,其组织致密,夹杂物少且细小,分布均匀,可有效防止疲劳破坏和磨损脱落。

5.2 取消退火处理的可能性

对电渣熔铸熔焊曲轴进行了初步的取消退火处理的试验,效果良好。使电渣熔铸曲轴取消退火处理成为可能,但仍需做深入的研究。

5.3 经济效益分析

电渣熔铸方法生产的曲轴和传统的锻钢车削成型相比,材料利用率可提高 70 %以上。另外,如果对于热处理进行详细实验,可取消时间长达十几小时的退火处理工艺,无论对于缩短生产周期以及能源节约都十分有利。

6 结论

(1) 电渣熔铸法生产大功率柴油机曲轴毛坯,具有金属纯净、组织致密、成分均匀、尺寸精确、表面光洁、性能优良及各向同性等优点。

(2) 采用电渣熔铸法生产曲轴,与锻钢机加工相比,可节约 70 %材料。

(3) 电渣熔铸法生产曲轴,有可能取消退火处理,使其热处理成本进一步降低。

参考文献

1 李正邦. 电渣熔铸. 北京:国防工业出版社,1981. 140
2 苏学嵩. 电渣熔铸整体曲轴. 铸造,1990(3):1
3 Duckworth W E. Electroslag Refining. London: Chapman and Hall, 1969. 83

张振国(1969-),男,讲师,1997 年大连铁道学院毕业,从事材料教学和研究。

收稿日期:2005-04-06

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net