

EAF-VOD-2.5 t ESR-锻造流程生产 Φ350 mm 17-4PH 不锈钢

柯其棠 柳学胜 陈长西 周丛惠
(大冶特殊钢股份有限公司,黄石 435001)

摘要 采用 EAF-VOD 工艺冶炼 17-4PH 沉淀硬化不锈钢(% : ≤0.04C, 16.20 ~ 16.50Cr, 4.50 ~ 4.70Ni, 3.30 ~ 3.40Cu, 0.25 ~ 0.40Nb), 铁模下铸 Φ320 mm 电极, 并电渣重熔(ESR) 成 2.5 t (Φ510 ~ 550 mm) 锭, 经 800 t 液压机或 5 t 蒸汽锻锤生产 17-4PH 钢 Φ350 mm 大规格锻材成品。工艺实践表明, 控制停锻温度(蒸气锤 980 °C ; 液压机 1050 °C), 将锻成的 Φ350 mm 17-4PH 钢成品材返回至室式加热炉(1130 ~ 1150 °C) 均热, 缓冷至(1050 ± 10) °C 均热后, 炉冷至 420 °C , 并及时在 650 °C 退火, 有效地消除了该钢锻后炸裂现象。

关键词 17-4PH 不锈钢 EAF-VOD ESR 锻造 Φ350 mm 圆钢

Production of Φ350 mm 17-4PH Stainless Steel Practice by EAF-VOD-2.5t ESR-Forging Flow Sheet

Ke Qitang, Liu Xuesheng, Chen Changxi and Zhou Conghui
(Daye Special Steel Corp Ltd, Huangshi 435001)

Abstract The Φ350 mm heavy forging products of 17-4PH precipitation hardening stainless steel were produced by EAF-VOD process melting and pig iron mold bottom casting Φ320 mm electrode of 17-4PH steel (≤0.04C, 16.20 ~ 16.50Cr, 4.50 ~ 4.70Ni, 3.30 ~ 3.40Cu, 0.25 ~ 0.40Nb), then remelted to 2.5 t (Φ510 ~ 550 mm) ESR ingot and forged by 800 t hydraulic press or 5 t steam hammer. The process practice showed that it was available to avoid cracking of the steel after forging by controlling end forging temperature (steam hammer 980 °C ; hydraulic press 1050 °C), soaking forged Φ350 mm 17-4PH steel products in cover-type furnace (1130 ~ 1150 °C), then slow cooling to (1050 ± 10) °C and soaking, furnace cooling to 420 °C , and in time annealing at 650 °C .

Material Index 17-4PH Stainless Steel, EAF-VOD, ESR, Forging, Φ350 mm Round Product

本工艺是在过去研究工作^[1,2]的基础上, 采用铁模下铸 Φ320 mm 17-4PH (0Cr17Ni4Cu4Nb) 不锈钢电渣母材, 利用单臂电渣炉热交替电渣重熔 2.5 t 锭, 能大幅度缩短生产周期和降低冶炼成本; 800 t 快锻将钢锭开钳口, 5 t 蒸汽锻锤锻制 Φ370 mm 荒圆, 800 t 快锻再锻制 Φ350 mm 成品。

1 冶炼设备及母材的冶炼

EAF 和 VOD 容量均为 20 t, 单臂电渣炉水冷结晶器上口尺寸 510 mm、下口 550 mm、高 1 860 mm, 底调整盘(电动), 平均充填比 0.40。

17-4PH 不锈钢的标准成分以及电弧炉初炼出

锈钢水、母材和电渣锭成品的化学成分列于表 1。

铁模下铸母材与钢锭锻制母材的最大区别在于铁模下铸母材实现了无铸余浇铸, 对于高合金钢种应采用两盘浇铸, 一是防止钢液静压力过大导致底板跑钢, 二是便于精确计算钢液重量, 确定第二盘浇钢支数。为了提高母材表面质量, 最好采用固体保护渣浇铸, 其用量控制在钢液上升到帽口线为宜。两盘浇铸时起坑温度要比一盘高 10 ~ 20 °C。

2 单臂交替电渣重熔

为了提高电渣钢锭内部质量, 将两支有缩孔的母材(帽口端, 即大头), 应分别熔炼在钢锭头尾部

表 1 17-4PH 不锈钢电弧炉出钢、母材和电渣成品的化学成分 / %
Table 1 Analyses of 17-4PH stainless steel at EAF tapping, electrode and ESR ingot / %

项目	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Nb
标准成分	≤0.07	≤1.00	≤1.00	≤0.040	≤0.030	15.50 ~ 17.50	3.00 ~ 5.00	3.00 ~ 5.00	0.15 ~ 0.45
初炼出钢	0.50 ~ 0.70	0.20 ~ 0.30	0.80 ~ 1.00	≤0.030	≤0.020	16.00 ~ 16.50	4.20 ~ 4.40	3.20 ~ 3.40	-
母材成品	0.03	0.38	0.62	0.022	0.016	16.31	4.61	3.40	0.28
电渣成品	0.06	0.32	0.45	0.022	0.009	15.90	4.53	3.50	0.26

位,通过计算,在小头焊接 2.2 ~ 2.5 m 长的钢棒作为重熔 2.5 t 钢锭的第 1 支母材(每支母材重 1.4 t),第 2 支母材在帽口端直接夹假电极作为交替。

清理母材缩孔内和表面的灰、渣等杂物,并将母材炉号铁牌敲掉;清理化渣电极,防止掉块增碳;清理熔池内渣皮,母材要求烘烤,尤其是第 2 支母材。

精选二元渣 130 kg(CaF₂ 91 kg, Al₂O₃ 39 kg);导电渣引燃,结晶器内化渣,化渣时间 30 ~ 35 min,化渣时冷却水温度 50 ~ 60 °C;热渣引燃总时间 17 min;冶炼制度如表 2,规定交替时间 ≤ 6 min,交替时结晶器上口用铁板遮盖,避免异物掉入熔池;补缩时间 15 ~ 18 min,断电后模冷 50 min,脱模转入双层纤维筒保温 120 h,统一出筒进行高温退火。14 炉每炉平均冶炼时间 345 min;生产率 0.496 3 t/h;交替时间 4.5 min;金属收得率 97.66%;合金元素回收率(%):Mn-72.58、Si-84.21、S-58.75、Cr-97.49、Ni-98.27、Nb-93.93。

表 2 热交替电渣重熔 17-4PH 不锈钢的技术参数
Table 2 Technology parameters for thermal alternating electrode electro-slag remelting 17-4PH stainless steel

时间	电流/A	炉口电压/V	水温/°C
前 2 h	14 500	48 ~ 49	55 ~ 65
后 2 h	14 000	47 ~ 48	55 ~ 65
换电极前 5 min	15 000	49 ~ 50	55 ~ 65 (关小冷却水)
换电极后 10 min	13 500 ~ 14 000	50 ~ 52	55 ~ 65 (逐渐开冷却水)

3 热加工

钢在 1 180 °C 以上温度长时间停留,δ-铁素体形成倾向增加。当 δ-铁素体在钢中含量达到 10% ~ 15% 时,2.5 t 锭型的钢锭加工时热塑性明显下降,在 800 t 液压机的缓慢形变过程中尤为突出,其特征是横向裂纹发生在锤头压下面上,与常见的钢在压下变形时纵向裂纹产生于两侧有所不同。对于 0.5 t 锭型的钢锭热加工裂纹明显减少,显然产生热加工裂纹的必要条件是钢中 δ-铁素体含量,但不是充分条件,因为小锭型(≤ 0.5 t)即使钢中 δ-铁素体含量为 15%,钢锭缓慢升温(50 °C/h)到 1 130 ~ 1 150 °C 保温 2 h 后进行热加工,依然具有良好的热塑性,实际生产中钢的加热速度太快(尤其是钢锭),低温区保温时间不足,加热温度过高(≥ 1 180 °C)等都会使钢的热塑性变差。

2.5 t 锭 800 t 液压机生产 Φ350 mm 成品的实践得出,1 道次压下量控制在 40 ~ 60 mm,进铁量

80 ~ 100 mm,停锻温度 ≥ 1 050 °C,总压缩比 ≤ 1.5,能有效的预防热加工裂纹,而蒸汽自由锻锤则可以对方形钢锭进行最大进铁量和锤头行程锻制,停锻温度可降到 980 °C。值得注意的是当角部与心部温差较大时,应采取大进铁量和轻锤倒棱,锻制荒圆倒棱前最好检查清除角部微裂纹,回炉加热保温后再倒棱锻制荒圆,这样可以确保成品表面质量。

由于该钢热加工后既有组织应力又有热应力,必须选用适当的热处理制度来消除。对于 ≥ 350 mm 的方或圆锻材,采取 860 °C 保温 6 ~ 8 h 后随炉冷却至室温,即使进行二次退火,依然出现严重的炸裂,裂纹走向由心部向外类似于冷拉材的半径裂,整支钢裂纹断口呈银白色,表明裂纹在退火之后产生。但同炉小规格(≤ 120 mm 方或圆)则没有发现裂纹,由此可见,产生裂纹的主要原因是热应力和组织应力,采取奥氏体稳定化处理或具备较高环境温度、较小冷却速度(≤ 20 °C/h)的坑冷处理,能有效预防裂纹的产生。

本工艺是将大规格坯材利用室式加热炉进行奥氏体稳定化处理。将锻制完成的 Φ350 mm 成品返回到 1 130 ~ 1 150 °C 室式加热炉中保温,缓冷到 (1 050 ± 10) °C,保温随炉缓冷至 420 °C 出炉,及时转移到退火炉进行 650 °C 低温退火,基本上杜绝了大规格坯材的炸裂。但处于室式加热炉水冷炉门低温区的钢材头部有炸裂现象,裂纹没有向纵深方向发展,表明温度的均匀性、端面切除的光滑性也是诱发裂纹的原因。

4 结语

利用 EAF + VOD 冶炼,铁模浇铸母材,单臂电渣炉热交替重熔 2.5 t 锭,800 t 液压机和 5 t 蒸汽自由锻锤联合锻制,室式加热炉代替退火炉热处理,有效地解决了 Φ350 mm 大规格锻材压缩比不足和热加工裂纹,是一条低成本的生产路线。

参考文献

- 1 郑云,吴有彩. 沉淀硬化不锈钢 17-4PH 中 δ-铁素体含量的控制. 特殊钢,1998,19(3):36
- 2 柳学胜,吴大茂,陈幼金,等. 电渣母材用 17-4PH 不锈钢的 VOD 精炼. 特殊钢,1994,15(5):48

柯其棠(1968-),男,工程师,1991 年华中理工大学毕业,合金锻造工艺研究。

收稿日期:2006-06-21