钒氮微合金化欧标S450J0高强热轧钢桩生产实践*

卜向东[1],冯岩青[2],惠治国[1],宋振东[1]

(1. 内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心,内蒙古 包头 014010;
2. 包头职业技术学院,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 根据钒、氮对钢的作用机理设计S450J0高强热轧钢桩化学成分并制定冶炼轧制工艺,依据工业生产数据分析了冶炼过程中钒合金及氮的收得率、终轧温度对钒氮钢的影响等,最终获得以铁素体和珠光体为主的欧标高强厚规格S450J0热轧钢桩,产品各项性能均满足标准要求。

关键词: 钒氮微合金; 欧标; S450J0; 钢桩
中图分类号: TG335.4; TG142.1 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2021)06-0051-04
DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2021.06.021

Production Practice on European Standard S450J0 High Strength Hot Rolled Steel Pile with Vanadium Nitrogen Microalloying

Bu Xiang-dong[1], *Feng Yan-qing*[2], *Hui Zhi-guo*[1], *Song Zhen-dong*[1]

(1. *Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
2. *Baotou Vocational & Technical College, Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: The chemical composition of S450J0 high strength hot rolled steel pile is designed as well as the smelting and rolling processes are formulated based on mechanism of action of vanadium and nitrogen on steel. Moreover, the effects of yield of vanadium alloy and nitrogen as well as finishing temperature in smelting process on vanadium nitrogen steel are analyzed based on the industrial production data. Finally, the European standard high strength S450J0 hot rolled steel pile with heavy gauge as well as ferrite and pearlite is obtained. All the product properties could meet standard requirements.

Key words: vanadium nitrogen microalloy; European standard; S450J0; steel pile

高强度钢桩结构与传统工程相比具有轻质、抗震、高强度、低耗能等诸多优点,主要用于制作多层框架柱、门式钢架柱、平台柱及工业构架等。

由于H型钢这类长型材产品生产速度快,轧制温度高,终轧温度通常在900 ℃以上,其工艺特点决定了型钢的合金设计适宜采用钒微合金化。钒的加入使钢的成本提高,微合金化元素在钢中通过形成碳、氮化物起强化作用。钢中氮化物比碳化物具有更高的稳定性,析出相更细小弥散,其强化效果明显提高。研究结果表明[1],氮是含钒钢中十分有效的合金元素,含钒钢中每增加0.000 1%的氮可提高材料强度6 MPa以上。同样钒含量的条件下,钒氮微合金化钢的强度、韧性高于钒微合金化钢,同样的强度条件下,添加钒氮合金的成本比添加钒合金的要

* 收稿日期:2021-10-13
作者简介:卜向东(1987-),男,内蒙古乌兰察布市人,工程师,现从事型材产品开发工作。

低，为此，就钒氮微合金化欧标 S450J0 高强热轧钢桩开展了研究。

1 技术要求及化学成分

1.1 技术要求

高强度钢桩制作的结构主要应用于浅海及沼泽地带、房屋建筑体系、深基坑支护体系等工民建领域。该产品具有高强度、厚规格、高韧性及易焊接等特点，产品规格及性能均执行欧标 EN 10034 标准要求，翼缘板腿厚为 20.7～30.4 mm，屈服强度（R_{eH}）不低于 430 MPa，抗拉强度（R_m）在 550～720 MPa，0 ℃冲击韧性（KV_2）不低于 27 J，碳当量（CEV）不低于 0.47%[2]。

1.2 化学成分

为保证材料强度与碳当量的最佳匹配，适当降低碳、锰含量上限，采用钒氮微合金化。钢中加钒氮的作用是通过形成 V(C,N) 影响钢的组织和性能，V 在奥氏体中能够完全固溶，不会阻碍奥氏体晶粒再结晶，通过多道次反复轧制可以得到细小的奥氏体晶粒，在随后冷却过程中，V(C,N) 在基体中析出，促进晶内铁素体的形成，细化铁素体晶粒。因此采用钒氮微合金化，利用其细化晶粒的作用，提高材料的强度，同时提高产品低温冲击韧性的稳定性[3]，钢中氮含量应控制在 0.01% 以上。欧标 S450J0 高强钢桩的化学成分如表 1 所示。

表 1 欧标 S450J0 高强钢桩的化学成分及碳当量（质量分数） %

C	Si	Mn	P	S	V	CEV
0.10～0.17	0.45～0.55	1.20～1.40	≤0.015	≤0.015	0.10～0.13	≤0.45

注：1. 采用钒氮 16 合金配钒。

2. 影响碳当量的残余元素 Cu、Ni、Cr、Mo 应控制在 0.010% 以下。

工业试制过程中，加入钒氮 16 合金后，钒的实际收得率为 89%～96%，氮的实际收得率为 31.67%～36.15%。钒及氮的收得率均相对稳定，有利于钢中钒及氮含量的控制。

2 生产工艺

2.1 冶炼工艺

铁水磷含量应保证在 0.150% 以下，控制钢水中铝含量，避免 AlN 脆性夹杂产生。稳定转炉装入量、终点成分及出钢温度。钒氮合金应在脱氧剂和其他合金加入后，钢水包半满前加入，尽可能避免与合金和氧化渣直接接触，保证钒收得率最大化，同时有足够的时间使氮溶解。

精炼后期喂入硅钙线，保证夹杂物的充分上浮，控制钢中夹杂物数量，根据钢水条件进行加热及成分微调。采用保护浇注，减少钢水二次氧化，控制液位波动，二冷采用弱冷工艺，为保证铸坯表面及内部质量应采用恒定拉速拉钢。

2.2 轧制工艺

2.2.1 加热工艺

S450J0 钢桩属于厚规格高合金高强度钢，高合金主要体现在钒氮合金的加入量上，钒含量高达 0.11% 以上，钢中虽然没有 Cr、Ni、Cu 等合金元素，但其合金含量相对较高，加热工艺较普通 Q355B 控制更为严格。

加热炉预热段温度不高于 900 ℃，铸坯在预热段停留时间适当延长，均热段温度控制在 1 230～1 280 ℃，每段的 4 个测温点均不应超温度上限，保证 BD1 开轧温度控制在 1 150 ℃以上。

2.2.2 孔型设计及轧制

使用异形坯料生产，加热后使用 BD 轧机开坯，在 CCS 轧机精轧组孔采用四辊万能往复轧制，使得成品 H 型钢断面尺寸符合标准要求。

BD 开坯机配置 3 个开坯孔型，分别为 1 个立压孔型及 2 个异形孔型，CCS 配置了 UR、E、UF 孔型，使用万能轧制工艺连续往复轧制 7 道次。为了保证成品的尺寸重新设计各孔压下量分配制度、连轧速度，通过合理的轧制变形保证成品 H 型钢尺寸稳定。为保证成品钢桩组织晶粒度均匀细小，终轧温度应控制在 880～930 ℃。

3 终轧温度对钒氮钢性能的影响

为研究终轧温度对钒氮微合金化 H 型钢性能的影响，选取 UC305×305×180 规格进行不同的终轧温度对比试验，逐支检验成品 H 型钢各项力学性能，力学性能如表 2 所示。

表 2　不同终轧温度下成品 H 型钢力学性能

终轧温度 /℃	屈服强度 R_{eH} /MPa	抗拉强度 R_m /MPa	延伸率 A/%	0 ℃ 冲击韧性 KV_2(均值) /J
880	461	625	22.5	121.5
890	458	606	21.5	118.0
900	459	621	21.5	93.0
910	460	615	22.0	89.0
920	454	608	21.0	74.5
930	452	610	21.5	51.0

由表 2 可以看出，终轧温度在 880 ~ 930 ℃ 之间，随着终轧温度的升高屈服强度及抗拉强度变化不明显，但 0 ℃ 冲击韧性逐步降低。

4　产品综合性能

4.1　力学性能

S450J0 高强钢桩轧制规格为 UBP305 × 305 × 149、UC305 × 305 × 180、UBP305 × 305 × 223，试验钢力学性能如表 3 所示。

表 3　试验钢力学性能

规格	屈服强度 R_{eH} /MPa	抗拉强度 R_m /MPa	延伸率 A/%	0 ℃ 冲击韧性 KV_2 /J
UBP305 × 305 × 149	466 ~ 489	630 ~ 665	22.0 ~ 25.0	105 ~ 156
UC305 × 305 × 180	451 ~ 475	619 ~ 643	22.0 ~ 24.0	101 ~ 148
UBP305 × 305 × 223	441 ~ 467	606 ~ 640	21.5 ~ 24.0	92 ~ 140

由表 3 可以看出，该成分体系下，三个规格产品各项力学性能均满足标准要求，同一坯型轧制，随着成品翼缘板厚度增加，屈服强度及抗拉强度呈下降趋势，延伸率变化不明显，0 ℃ 冲击韧性略有降低。

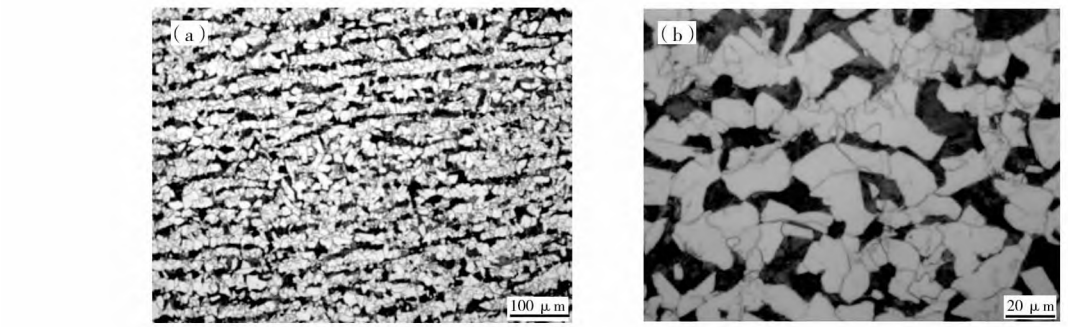
4.2　高倍组织

分别对 4 炉钢进行显微组织、晶粒度、夹杂物及断口形貌分析，检验结果如表 4 所示。图 1 为试验钢显微组织形貌，图 2 为冲击试样 SEM 断口分析。

由表 4 及图 1 可以看出，试验钢夹杂物控制水平良好，晶粒尺寸细小，组织均为珠光体 + 铁素体。

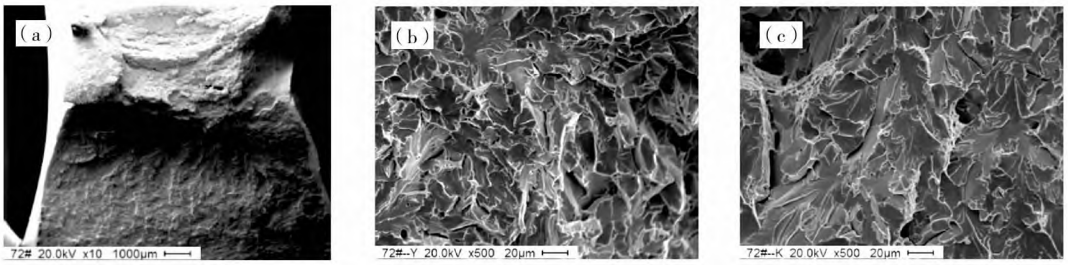
表 4　试验钢组织、晶粒度、夹杂物检验结果

夹杂物/级					晶粒度/级	组织
A	B	C	D	Ds		
0.5	0.5	0.5	1.5	0.5	9.0	铁素体 + 珠光体
1.0	0.5	1.0	1.0	0.5	9.5	铁素体 + 珠光体
0.5	0.5	1.0	1.0	1.0	9.5	铁素体 + 珠光体
1.5	0.5	0.5	1.0	0.5	9.5	铁素体 + 珠光体



(a) 100倍　　(b) 500倍

图 1　试验钢显微组织形貌



(a)断口宏观形貌 (b)裂纹源区形貌 (c)扩展区形貌

图2 SEM断口分析

由图2可以看出,裂纹源区及扩展区均为解理形貌,100倍下可以观察到试验钢试样断口有明显韧性变形,500倍下断面平坦,基本没有起伏,放射纹路分别起源于冲击开槽部位。

5 结论

(1)采用钒氮微合金化生产欧标S450J0热轧高强钢桩产品思路可行,产品性能稳定性较好。

(2)采用钒氮16合金配钒,钒的收得率及氮的收得率相对稳定,有利于工业生产中钒含量及氮含量的控制。

(3)终轧温度在880~930 ℃区间内,钒氮微合金化S450J0高强热轧钢桩随着终轧温度的的升高,屈服强度、抗拉强度及延伸率变化不明显,但0 ℃冲击韧性逐步降低。

参 考 文 献

[1] S. Zajac, T. Siwechi. Strengthening Mechanism in Vanadium Microalloyed Steel Intended for Long Products [J]. ISIJ International, 1998, 38(10): 1 130 – 1 139.

[2] EN 10025 – 2—2004,热轧结构钢产品(第二部分):非合金结构钢的技术交货条件 [S].

[3] 方金林,李超,邓存善. 欧标S450J0 H型钢桩性能提升的研究 [J]. 莱钢科技,2013,(1): 49 – 52.

(上接第22页)

各类电池的优劣,总结了镍氢蓄电池在铁路车辆上使用具有绿色环保、安全可靠、免维护、回收价值高的优点,在铁路车辆上推广应用具有一定的前景和意义。

参 考 文 献

[1] 吕鸣祥,黄长保,宋玉瑾,等. 化学电源 [M]. 天津:天津大学出版社,1992.

[2] 唐有根,李文良. 镍氢电池 [M]. 北京:化学工业出版社,2007.

[3] 徐绍萍,李培良,耿朝青. 镍氢电池用廉价稀土储氢合金负极材料的研制 [J]. 稀土,2004, 25(5): 15 – 23.

[4] 范美强,廖维林,吴伯荣,等. 电动车用MH – Ni电池温度特性研究 [J]. 电池工业,2004,9(6): 287 – 289.

[5] Chen J, Bradhwst D H, Dou S X, et al. Nickel Hydroxide as an Active Material for the Positive Electrode in Rechargeable Alkaline Batteries [J]. J Electrochem. Soc., 1999,(10): 3 606 – 3 612.

[6] Shukla A K, Venugopalan S, Hariprakash B. Nickelbased Rechargeable Batteries [J]. J. Power Sources, 2001,(12): 125 – 148.

[7] TJ/CL 559—2018,铁路客车镍氢蓄电池暂行技术条件 [S].

[8] 王云波,安胜利. 密封式镍氢电池在铁路客车上的应用研究 [J]. 包钢科技,2021,47(4): 26 – 29.