

Development of manufacturing process for high strength AC adapter

Yuancheng Guo¹ Yahua Kang²

1. Shenyang Vocational and Technical College, Shenyang, Liaoning, 110045, China

2. Shenyang Transformer Group Co., Ltd., Shenyang, Liaoning, 110027, China

Abstract

large power transformer body weight of hundreds of tons, clamps and pull plate is the hundreds of tons of weight of the body bones, play a supporting and protective role. But because of the limitation of the structure and size, the pull plate can not have enough margin in the thickness as the clamp, the thin and narrow tension plate becomes the key point, the weak point of the whole force, and the strength of the tension plate becomes a crucial link. This paper describes the manufacturing and development process of high strength AC adapter plates for UHV body assembly, focusing on the selection of chinese-made steel and the development of welding technology, two key points in the R & D process are analyzed and elaborated in detail.

Keywords

AC adapter; pull plate; steel; welding

高强度直流变压器拉板制造工艺研发

郭源成¹ 康雅华²

1. 沈阳职业技术学院, 中国·辽宁 沈阳 110045

2. 特变电工沈阳变压器集团有限公司, 中国·辽宁 沈阳 110027

摘 要

大型电力变压器器身重达几百吨, 夹件及拉板则是这几百吨重器身的骨骼, 起到支撑保护作用。夹件厚重, 强度方面可以通过提高板厚来保障; 但由于结构及尺寸的限制, 拉板则不能像夹件那样在厚度上有足够的裕度, 在频繁的器身起吊过程中, 又薄又窄的拉板成了整个受力的关键点、薄弱点; 进而拉板的强度成为至关重要的一个环节。本文介绍了针对特高压直流变压器器身总装中所需的高强度拉板的制造研发过程, 文中重点从中国国产化钢材的选择、焊接工艺的研发两方面展开, 将研发过程中的两大攻关要点进行了详细的分析与阐述。

关键词

直流变压器; 拉板; 钢材; 焊接

1 概述

以往中国变压器制造商生产或组装的大容量直流变压器, 其中的拉板部件均依赖整体进口, 即从德国或瑞典进口。相关制造商一直对钢材的种类、焊接工艺参数、产品性能数据等严格保密, 中国一直无法自主生产。为了打破垄断, 实现该部件可以自主化生产、掌握该部件的制造核心技术、降低该部件产品成本, 技术人员开展了针对直流变压器拉板自主化生产的工艺研发工作。

2 拉板国产钢材选择

2.1 进口拉板钢材指标概述

拉板结构如图 1 所示, 其中项 1、2 为拉板条, 项 3 为钩板, 项 4 为螺杆。利用一件进口拉板实物, 研究人员开展了针对各个部位的化学成分分析及机械性能测试。

根据对拉板进行实物测量的情况, 判定拉板由钩板、拉板条及螺杆三部分焊接组成。

通过分别在钩板、拉板条及螺杆中取样进行化学成分分析及力学性能试验, 归纳其钢材特点及共性要求如下:

螺杆: 为调质状态供货, 抗拉强度不低于 800MPa, 屈服强度不低于 700MPa, 伸长率不低于 15%; 化学成分碳在 0.17~0.23 之间, 属低碳钢范畴, 硫、磷杂质均 ≤ 0.035 , 其他为微量合金元素。

中间板(拉板条): 为调质状态供货, 抗拉强度不低于 980MPa, 屈服强度不低于 785MPa, 伸长率不低于

【作者简介】郭源成(1983-), 男, 中国辽宁辽阳人, 本科, 副教授、高级工程师, 从事机械、金属材料研究。

11%；化学成分碳在 0.13~0.18 之间，属低碳钢范畴，硫杂质 ≤0.3，磷杂质 ≤0.025，其他为微量合金元素。

钩板：为调质状态供货，抗拉强度不低于 790MPa，屈服强度不低于 685MPa，伸长率不低于 16%；化学成分碳在 0.12~0.21 之间，属低碳钢范畴，硫杂质 ≤0.3，磷杂质 ≤0.025，其他为微量合金元素。

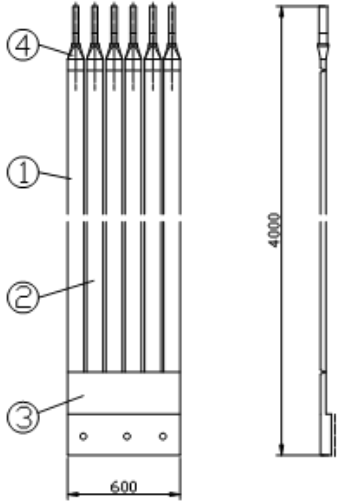


图 1 拉板结构示意图

根据上述分析结果，得出进口拉板的材质特点应为：每种钢材的屈服强度与抗拉强度均存在一定数值差，至少在 100~195MPa，这说明材质具有非常不错的塑性；含碳量均在 0.12~0.23 范围，均为低碳钢；屈服强度均在 700MPa 以上，为高强度钢；均为调质状态供货，为调质钢。

2.2 中国产拉板材料选择

对应进口拉板的各项性能指标，通过市场调研，选取的钢材如下：

螺栓：选择了中国产的 20CrMnTi。选择理由是其含碳量为 0.17，为低碳钢；屈服强度为 1140MPa，为高强度钢；

硫杂质为 0.0005、磷杂质为 0.014，满足要求；钢材的屈服强度与抗拉强度均存在 300MPa 差值，材质的伸长率为 14%。20CrMnTi 钢的力学性能见表 1。

表 1 20CrMnTi 钢的力学性能

钢种型号	材料规格	σ_b (MPa)	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	伸长率 (%)
20CrMnTi	φ 30mm	1440	1140	14

拉板条：选择了中国产的 BWELDY960QL。选择理由是其含碳量为 0.18，为低碳钢；屈服强度为 960MPa，为高强度钢；硫杂质为 0.01，磷杂质为 0.02，满足要求；钢材的屈服强度与抗拉强度存在 30MPa 差值，材料的塑性不占优势，伸长率为 12%。BWELDY960QL 钢的力学性能见表 2。

钩板：选择了国产的 S690Q。选择理由是其含碳量为 0.09，为低碳钢；屈服强度为 815MPa，为高强度钢；硫杂质为 0.006，磷杂质为 0.016，满足要求；钢材的屈服强度与抗拉强度存在 35MPa 差值，材质的塑性不占优势，伸长率为 31%。S690Q 钢的见表 3。

表 2 BWELDY960QL 钢的力学性能

钢种型号	材料规格	σ_b (MPa)	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	伸长率 (%)
BWELDY960QL	板材 10mm 厚	980	960	≥12

表 3 S690Q 钢的力学性能

钢种型号	材料规格	σ_b (MPa)	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	伸长率 (%)
S690Q	板材 20mm 厚	850	815	31.0

3 拉板国产化焊接工艺研发

3.1 进口拉板焊接情况

通过对进口拉板螺栓与拉板条之间焊缝 1 部位、拉板条与钩板之间焊缝 2 部位取样进行化学成分分析及力学性能试验，得出表 4 和表 5 中数值。

表 4 进口拉板焊缝部位的化学成分

取样部位	化学成分 (%)									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Ti	V
焊缝 1	0.08	0.60	1.70	0.015	0.012	0.20	1.50	0.50	-	-
焊缝 2	0.071	0.50	1.76	0.02	0.019	0.20	1.51	0.45	0.3	0.2

表 5 进口拉板焊缝部位的力学性能

取样部位	σ_b (MPa)	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	伸长率 (%)	-20℃冲击功 (J)
焊缝 1	780	720	18	52
焊缝 2	775	710	17	50

3.2 中国产焊丝选择

根据进口拉板焊缝部位的化学成分及力学性能数据，经过对中国高强焊丝市场的调研，最终选择了两种中国产高强焊丝进行进一步的焊接工艺研究，焊丝分别是中国产的 SLD-80 直径 1.2mmMAG 焊丝以及中国产的 TUnionGM100 直径 1.2mmMAG 焊丝。

为验证所选的两种焊丝与所选的三种钢材之间的焊接性能，分别使用两种焊丝进行 20CrMnTi 与 BWELDY960QL（试件 1）、S690Q 与 20CrMnTi（试件 2）两种异种钢材

之间的焊接性能试验。试验前，从避免产生冷裂纹、热影响区脆化、热影响区软化角度出发，制定预焊工艺参数为：打底焊接电流 140~150A，盖面焊接电流 150~160A，焊接电压 30V，保护气为 85%Ar+15%CO₂ 混合气、保护气体流量 15~20L/min，焊接速度为 18~20m/h，层间预热温度 130-140℃。具体焊接流程为：预热—打底焊—打磨—层间预热—盖面—清根—层间预热—封底焊。

焊接试验后，将焊接试件焊缝部位进行力学性能试验，得出表 6 中相关数据。

表 6 两种中国产焊丝焊接试件焊缝部位力学性能

焊丝名称	试件编号	σ_b (MPa)	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	伸长率 (%)	-20℃冲击功 (J)
SLD-80	试件 1	≥1040	≥940	10.85	≥30
	试件 2	≥1152	≥1031	21.9	≥27
TUnionGM100	试件 1	≥1041	≥948	11.1	≥29
	试件 2	≥1162	≥1051	12.7	≥28

通过上述表 6 中数据与进口拉板力学性能表 5 中数值进行对比，中国产拉板焊缝部位的屈服强度、抗拉强度均明显优于进口拉板，延伸率略低于进口拉板，-20℃冲击性能低于进口拉板性能。但从表 6 中数据可以判定使用的预焊接工艺参数及焊接工艺流程较为合适，能够充分保证三种国产高强度钢焊后焊缝部位的力学性能。

4 结论

通过上述试验研究，技术人员选用的几种中国产钢材焊接材料，通过适当的焊接工艺焊接出的直流变压器拉板，

其抗拉强度及屈服强度均优于进口拉板，虽然 -20℃冲击性能不及进口拉板，但考虑拉板的使用条件为只承受拉力而不承受剪切力及弯曲力，且使用环境温度均在 70K 左右，所以中国产拉板完全可以代替进口拉板，应用于各大直流变压器产品中。

参考文献

[1] 郭源成,康雅华.变压器拉板制造工艺[J].变压器,2017,54(6): 17-18.

[2] 陈祝年.焊接工程师手册[M].北京:机械工业出版社,2019.

[3] 闻邦椿.机械设计手册[M].北京:机械工业出版社,2018.