

道间温度对 10CrNi5MoV 钢气体保护焊接头力学性能的影响

王 宪, 杜 义, 张京海, 薛 钢

(中国船舶重工集团公司第七二五研究所, 河南 洛阳 471023)

摘 要: 通过屈服强度和冲击韧性测试、组织分析, 研究了两种焊接热输入条件下道间温度对 10CrNi5MoV 钢气体保护焊接头力学性能的影响。结果表明, 随着道间温度从 40 ℃ 提高到 300 ℃, 焊接热输入为 8 kJ/cm 和 18 kJ/cm 的焊缝金属屈服强度分别从 868 MPa 和 855 MPa 单调下降至 728 MPa 和 693 MPa, -50 ℃ 冲击韧性分别从 70 J 和 69 J 升高至 117 J 和 72 J (道间温度分别为 200 ℃ 和 100 ℃), 然后降低至 67 J 和 43 J; 焊缝金属的组织差异是不同道间温度下焊接接头力学性能不同的原因。随着道间温度从 40 ℃ 提高到 300 ℃, 焊缝金属中马氏体组织逐渐消失, 粒状贝氏体组织逐渐增多, 针状铁素体组织比例先增加再减少, 含量最高时的道间温度与冲击韧性峰值水平相一致。

关键词: 道间温度; 10CrNi5MoV 钢; 气体保护焊; 力学性能

中图分类号: TG 142.4 **文献标识码:** A

Effect of Interpass Temperature on Mechanical Property of Gas Shielded Welding Joint to 10CrNi5MoV Steel

WANG Xian, DU Yi, ZHANG Jing-hai, XUE Gang

(Luoyang Ship Material Research Institute, Luoyang 471023, China)

Abstract: Effect of interpass temperature on mechanical property of 10CrNi5MoV steel gas shielded welding joint was investigated in two different energy input by yield strength, impact toughness testing and tissue analysis. The results indicated that when the energy input was 8 kJ/cm and 18 kJ/cm, the yield strength of weld metal monotonic decreased from 868 MPa and 855 MPa to 728 MPa and 693 MPa respectively, impact toughness at -50 ℃ of weld metal rose from 70 J and 69 J to 117 J and 72 J (interpass temperature was 200 ℃ and 100 ℃ respectively), then reduced to 67 J and 43 J. The difference in the tissue made the mechanical property changed with the interpass temperature elevated. With interpass temperature rose from 40 ℃ to 300 ℃, the content of martensite structure in weld metal gradually disappeared, granular bainite structure gradually increased, acicular ferrite structure increased first, and then decreased. The interpass temperature corresponded to the peak of acicular ferrite structure content was consistent to the peak of the impact toughness.

Keywords: interpass temperature; 10CrNi5MoV Steel; gas shielded welding; mechanical property

焊接冷裂纹是高强钢焊接中容易出现的一种焊接缺陷, 影响焊接结构服役的安全可靠性^[1-2]。随着母材和焊缝金属强度的提高, 焊接冷裂纹产生倾向增大^[3]。为避免焊接冷裂纹的产生, 通常从两方面着手, 一是降低焊接材料的冷裂纹产生敏感性, 二是制定合理的焊接工艺, 其中保证一

定的预热及道间温度是工程实践中行之有效的办法^[4-6]。但道间温度会影响焊缝力学性能, 对于特定的焊接材料, 存在合适的道间温度。本文针对屈服强度为 785 MPa 级别的 10CrNi5MoV 钢, 研究两种焊接热输入条件下预热及道间温度对气体保护焊接头力学性能的影响。

收稿日期: 2013-11-29

基金项目: 基础科研项目(JK110103)

作者简介: 王宪, 男, 1987 年生, 助理工程师, 主要从事焊接材料及焊接工艺研究。E-mail: 289601270@qq.com。

1 试验材料和方法

试验用钢板为厚度 26 mm 的 10CrNi5MoV 钢,焊接材料为 $\phi 1.2$ mm 气体保护焊丝,钢板及试验焊丝的化学成分如表 1 所示,焊接时采用含 5% CO_2 的 Ar-O_2 混合气体,控制流量为 18~25 L/min,焊接工艺参数如表 2 所示,道间

温度设置为 40 $^{\circ}\text{C}$ 、100 $^{\circ}\text{C}$ 、200 $^{\circ}\text{C}$ 、300 $^{\circ}\text{C}$,按照 GB/T 2650—2008《焊接接头冲击试验方法》、GB/T 2652—2008《焊缝及熔敷金属拉伸试验方法》进行焊接接头力学性能试验,测定不同道间温度条件下焊缝金属的屈服强度和 -50 $^{\circ}\text{C}$ 冲击韧性,按照 GB/T 13298—1991《金属显微组织检验方法》分析焊接接头中间焊道金相组织。

表 1 焊接材料及 10CrNi5MoV 钢板化学成分

Table 1 The chemical composition of Welding material and 10CrNi5MoV steel (w) %

Experimental materials	C	Si	Mn	Cr	Ni	V	Mo
Welding material	0.063	0.409	0.877	0.648	2.36	—	0.442
Steel	≤ 0.11	0.17~0.37	0.40~0.70	0.40~0.70	4.4~4.8	0.03~0.09	0.30~0.55

表 2 焊接工艺参数

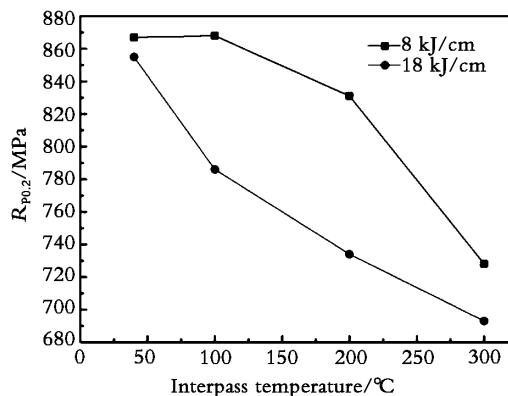
Table 2 Welding parameters

Current /A	Voltage /V	Velocity /($\text{cm} \cdot \text{min}^{-1}$)	Energy input /($\text{kJ} \cdot \text{cm}^{-1}$)
180	25	35	8
280	28	25	18

2 试验结果与分析

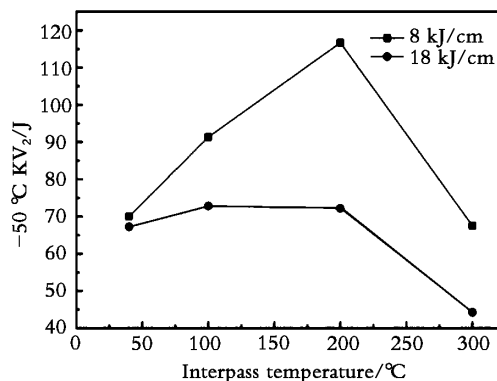
2.1 道间温度对焊缝金属屈服强度与 -50 $^{\circ}\text{C}$ 冲击韧性的影响

不同道间温度条件下焊缝金属屈服强度和 -50 $^{\circ}\text{C}$ 冲击韧性测试结果如图 1 所示。在 8 kJ/cm 焊接热输入条件下,随着道间温度由 40 $^{\circ}\text{C}$ 提高到 300 $^{\circ}\text{C}$,焊缝金属屈服强度由 868 MPa 降低至 728 MPa,焊缝金属 -50 $^{\circ}\text{C}$ 冲击韧性由 70 J 增加至 117 J(道间温度 200 $^{\circ}\text{C}$),然后降低至 67 J;在 18 kJ/cm 焊接热输入条件下,随着道间温度由 40 $^{\circ}\text{C}$ 提高到 300 $^{\circ}\text{C}$,焊缝金属屈服强度由 855 MPa 降低至 693 MPa,焊缝金属 -50 $^{\circ}\text{C}$ 冲击韧性由 69 J 增加至 72 J(道间温度 100 $^{\circ}\text{C}$),然后降低至 43 J。道间温度相同时,焊接热输入 8 kJ/cm 条件下接头屈服强度和 -50 $^{\circ}\text{C}$ 冲击韧性要高于 18 kJ/cm 条件下的屈服强度和 -50 $^{\circ}\text{C}$ 冲击韧性。随着道间温度的提高,焊缝金属的屈服强度均呈单调下降趋势,低温韧性呈先升高后降低的趋势。



(a) 屈服强度

(a) Yield strength



(b) -50 $^{\circ}\text{C}$ 冲击韧性

(b) Impact toughness of -50 $^{\circ}\text{C}$

图 1 道间温度对焊缝金属屈服强度与冲击韧性的影响

Fig. 1 Effect of interpass temperature on yield strength and impact toughness of weld metal

2.2 道间温度对焊缝金属组织的影响

两种焊接热输入条件下,道间温度对焊缝中

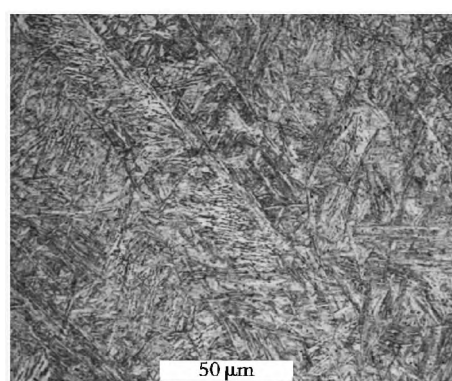
心组织的影响如表 3 及图 2.3 所示。在焊接热输入为 8 kJ/cm 时, 随着道间温度由 40 ℃ 提高到 300 ℃, 焊缝中马氏体组织消失, 而粒状贝氏体组织逐渐增多, 针状铁素体组织的含量先增加再减少。在焊接热输入 18 kJ/cm 时, 随着道间温度由 40 ℃

提高到 300 ℃, 焊缝组织由贝氏体、针状铁素体、粒状贝氏体的混合组织转变为单一的粒状贝氏体组织。随着道间温度从 40 ℃ 升高至 300 ℃, 焊缝金属组织中马氏体组织逐渐减少, 粒状贝氏体组织逐渐增多, 针状铁素体组织先增加后减少。

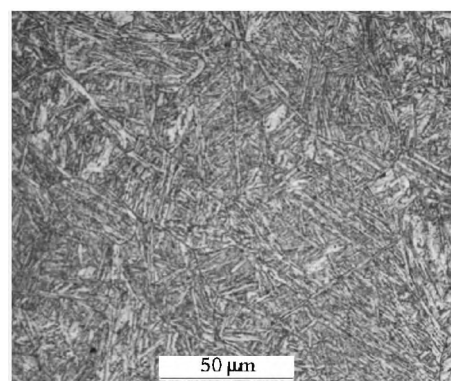
表 3 不同道间温度焊缝金属组织类型

Table 3 The tissue of weld metal with different interpass temperature

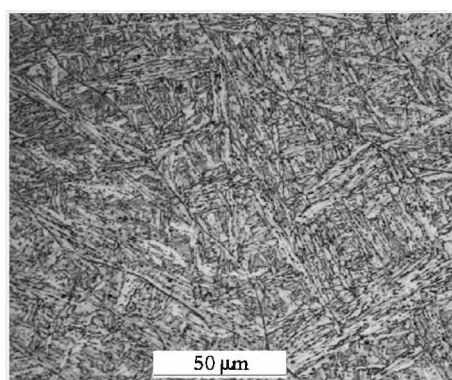
Energyinput/(kJ · cm ⁻¹)	40 ℃	100 ℃	200 ℃	300 ℃
8	martensite + bainite + acicular ferrite + granular bainite	bainite + acicular ferrite + granular bainite	bainite + acicular ferrite + granular bainite	bainite + acicular ferrite + granular bainite
18	bainite + acicular ferrite + granular bainite	bainite + acicular ferrite + granular bainite	bainite + acicular ferrite + granular bainite	granular bainite



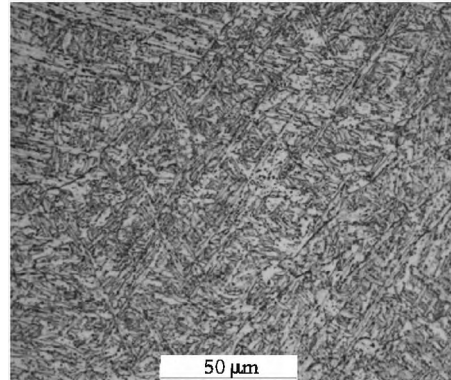
(a) 道间温度40 ℃
(a) Interpass temperature 40 ℃



(b) 道间温度100 ℃
(b) Interpass temperature 100 ℃



(c) 道间温度200 ℃
(c) Interpass temperature 200 ℃



(d) 道间温度300 ℃
(d) Interpass temperature 300 ℃

图 2 焊接热输入为 8 kJ/cm 时焊缝金属组织

Fig. 2 The tissue of the weld metal with 8kJ/cm energy input

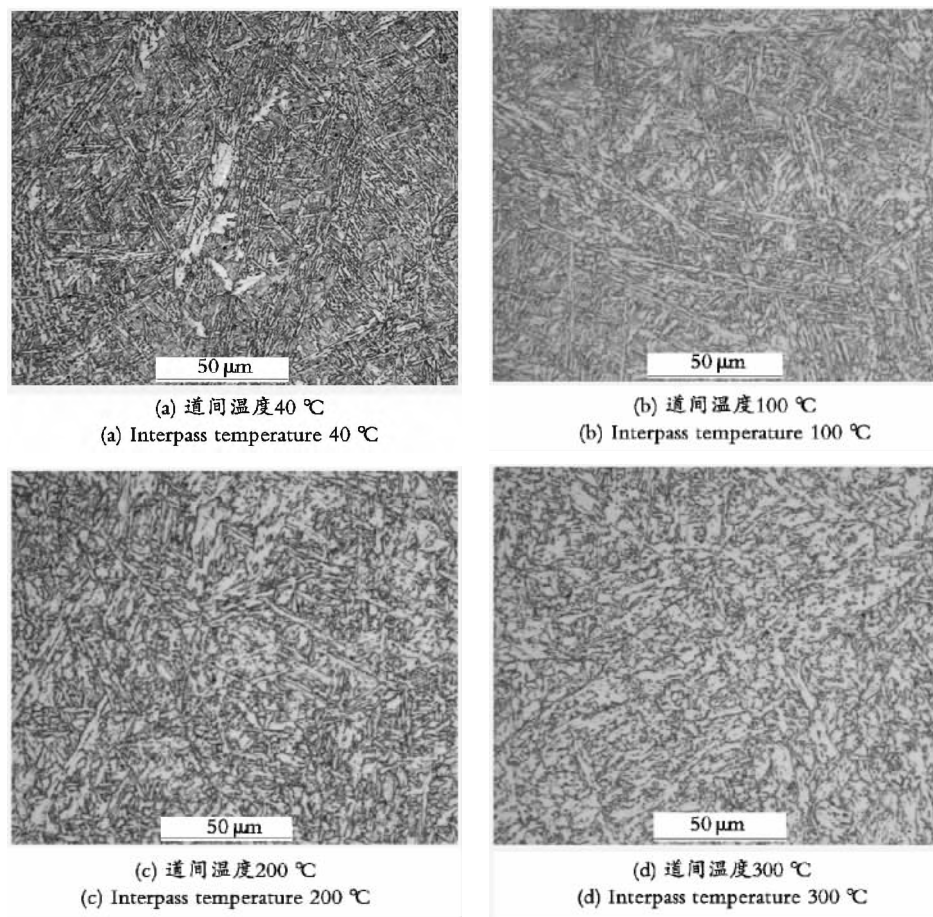


图 3 焊接热输入为 18 kJ/cm 时焊缝金属组织

Fig. 3 The tissue of the weld metal with 18 kJ/cm energy input

2.3 道间温度对焊缝金属 $t_{8/5}$ 时间的影响

在焊接过程中向熔池金属插入热电偶,获得焊缝金属在冷却过程中温度随时间变化的数据,计算出的焊缝金属冷却过程时间 $t_{8/5}$ 如表 4

所示。可以看出,在焊接热输入为 8 kJ/cm、18 kJ/cm 时,随着道间温度从 40 °C 升高到 300 °C,焊缝 $t_{8/5}$ 时间分别从 3.7 s、7.6 s 增加到 8.9 s、31 s。

表 4 道间温度对焊缝 $t_{8/5}$ 时间的影响

Table 4 Effect of interpass temperature on $t_{8/5}$ of weld metal

Energy input/(kJ · cm ⁻¹)	40 °C	100 °C	200 °C	300 °C
8	$\frac{3.7 \ 3.5 \ 3.9}{3.7}$	$\frac{4.4 \ 4.7 \ 4.8}{4.6}$	$\frac{7.6 \ 8.6 \ 8.8}{6.9}$	$\frac{9.1 \ 8.8 \ 8.8}{8.9}$
18	$\frac{8.2 \ 7.7 \ 6.9}{7.6}$	$\frac{9.4 \ 9.4 \ 8.7}{9.2}$	$\frac{15.6 \ 18.5 \ 18.6}{17.2}$	$\frac{30.5 \ 30.9 \ 31.5}{31}$

3 讨论

在焊缝金属成分一定的情况下,焊缝的力学

性能取决于焊缝金属组织类型,在焊缝金属各类组织中,马氏体组织强度高,低温韧性差,粒状贝氏体组织强度低,低温韧性较马氏体组织差,针状铁素体组织强韧性匹配良好,为了获得良好的

低温韧性,希望焊缝金属中存在大量细小的针状铁素体组织。

焊缝金属的组织取决于焊接过程中焊缝金属的冷却速度,尤其是 800 °C 到 500 °C 阶段的冷却速度,可以采用焊缝金属温度从 800 °C 降低到 500 °C 所用的时间(即 $t_{8/5}$ 时间)来表征。在焊接热输入一定的情况下,焊缝金属的 $t_{8/5}$ 时间与焊接时道间温度有关,如表 4 所示,当焊接热输入为 8 kJ/cm、18 kJ/cm 时,随着道间温度从 40 °C 升高到 300 °C,焊缝金属 $t_{8/5}$ 时间分别从 3.7 s、7.6 s 增加到 8.9 s、31 s。针对本文焊缝金属合金体系,当焊缝金属 $t_{8/5}$ 时间为 3.7 s 时,焊缝金属中出现马氏体;焊缝金属 $t_{8/5}$ 时间为 31 s 时,焊缝金属为粒状贝氏体组织;焊缝金属 $t_{8/5}$ 时间为 4.6 s ~ 17.2 s 时,焊缝金属为贝氏体、针状铁素体、粒状贝氏体的混合组织,随着焊缝金属 $t_{8/5}$ 时间从 4.6 s 增加到 17.2 s,贝氏体、针状铁素体组织呈现先增加再减少,粒状贝氏体组织不断增加。

可见,道间温度通过影响焊缝金属的 $t_{8/5}$ 时间,影响焊缝金属组织,进而影响焊缝金属的力学性能,针对本文试验用气体保护焊丝,为了获得良好的强韧性,需要根据焊接热输入选择合适的道间温度,使焊缝金属获得大量细小的针状铁素体组织。

4 结论

(1) 在 8 kJ/cm、18 kJ/cm 焊接热输入条件下,提高焊接时道间温度,焊缝金属的强度呈单调下降趋势,低温韧性则呈现先升高后降低的趋势。

(2) 焊接热输入对 10CrNi5MoV 钢气体保护焊接头力学性能影响较大,道间温度相同时,热输入为 8 kJ/cm 时焊缝金属屈服强度和 -50 °C 冲击韧性高于 18 kJ/cm 条件下的屈服强度和 -50 °C 冲击韧性。

(3) 在 8 kJ/cm、18 kJ/cm 焊接热输入条件下,提高焊接道间温度,焊缝金属 $t_{8/5}$ 时间增大,焊缝金属中马氏体组织逐渐消失,粒状贝氏体组织逐渐增多,针状铁素体先增加后减少。

参考文献:

- [1] 张文钺. 焊接冶金学 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1999.
Zhang W Y. Welding Metallurgy [M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 1999.
- [2] 铃木春义. 钢材的焊接裂纹 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1981.
Ling M C Y. Weld Crack of Steel [M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 1981.
- [3] 陈伯鑫. 焊接冶金原理 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1991.
Chen B L. The Principle of Welding Metallurgy [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1991.
- [4] Savage W F, Nippes E F, Homma H. Hydrogen induced cracking in HY-80 steel weldments [J]. Welding Journal, 1976, 55: 368—380.
- [5] Pargeter R J. Effects of arc energy, plate thickness and preheat on C-Mn steel weld metal hydrogen cracking [C]. TWI Research Report. London: The Welding Institute, 1992, NO. 461.
- [6] Suzuki H, Yurioka N. Prevention against cold cracking in welding steel [J]. Australian Welding Journal, 1982, 27: 9—27.

(编辑: 房威)