

石油化工机械行业 焊接资料汇编

全国化工与炼油机械行业技术情报网

各地区正、副组长工作会议编

一九七五年

石油化工机械行业 焊接资料汇编

全国化工与炼油机械行业技术情报网
各地区正、副组长工作会议编

兰州石油机械研究所
通用机械研究所
哈尔滨锅炉厂

内 容 提 要

本资料系一机部石油化工机械行业焊接经验交流会上交流资料的选编，包括有低合金高强度钢的焊接试验、二氧化碳气体保护焊、窄间隙气电焊、焊接劳动保护等方面的十二篇资料。所选用的资料，大部分已用于生产。

本资料可供工厂、学校及研究单位的工人和工程技术人员参考。

石油化工机械行业焊接资料汇编

全国化工与炼油机械行业技术情报网

各地区正、副组长工作会议编

兰州石油机械研究所、通用机械研究所、哈尔滨锅炉厂出版

哈尔滨印刷四厂印刷

兰州石油机械研究所发行

前 言

建国二十五年来，在毛主席的革命路线指引下，我国石油化工机械行业，从无到有，从小到大，得到了迅速发展。特别是在无产阶级文化大革命中，试制成功了一大批炼油和合成氨的重大设备，提供了年处理 250 万吨炼油厂、10 万吨合成氨厂等规模较大的化工炼油成套设备，石油化工机械行业更得到了突飞猛进的发展。

焊接是石油化工设备制造中的关键工艺之一，焊接技术水平直接影响设备的制造质量和生产效率。近年来，我国石油化工机械行业的广大职工，以路线斗争为纲，认真贯彻《鞍钢宪法》，开展“工业学大庆”的群众运动，大搞技术革新和技术革命，使行业的焊接技术水平有了普遍提高，一些新技术、新工艺、新材料、新设备有了较为广泛地应用。

为了广泛交流和推广焊接新技术、新工艺，提高行业的焊接技术水平，根据一九七四年八月在广州召开的“全国化工与炼油机械行业技术情报网各地区正、副组长工作会议”的决定，选取了“一机部石油化工机械行业焊接技术经验交流会”上交流的部分资料，加以汇编、整理、出版。会上交流的有些资料，虽内容很好，但因已铅印而且发行较广，或因在有关刊物上已刊登，为了避免重复，没有选用。

由于我们水平有限，时间仓促，本资料如有不妥之处，请读者批评指正。

编 者
一九七四年九月

目 录

前 言

1. 14 锰钼铌硼调质型低合金高强度钢的焊接及其爆破试验 (东方锅炉厂、
金州重型机器厂、通用机械研究所) (1)
2. 锰钼钒型高强度钢的焊接 (哈尔滨锅炉厂) (22)
3. 14 锰钼钒硼钢制多层式高压容器筒体纵缝上横向裂纹的研究 (上海锅炉厂) ... (38)
4. 粗丝二氧化碳气体保护焊在化工设备制造中的应用 (北京金属结构厂) (47)
5. 二氧化碳气体保护焊试验生产小结 (广州重型机器厂) (56)
6. 管子与管板二氧化碳自动焊 (清华大学、北京金属结构厂) (69)
7. 二氧化碳气体保护多头焊机 (东方锅炉厂) (79)
8. 厚板窄间隙气电焊试验小结 (上海锅炉厂、武汉锅炉厂、广州重型机器厂、
上海劳动电焊机厂、一机部机械院漯河筹备处) (80)
9. 窄间隙脉冲电弧气体保护焊 (哈尔滨锅炉厂) (92)
10. 不锈钢为内筒的多层式高压容器的深环缝焊接 (金州重型机器厂) (101)
11. 一体式脉冲弧焊机及其在不锈钢焊接中的应用 (北京金属结构厂) (104)
12. 焊接劳动保护工作小结 (北京金属结构厂) (122)

14 锰钼铌硼调质型低合金高强度钢的焊接及爆破试验

东方锅炉厂、金州重型机器厂、通用机械研究所

前 言

六十年代以来,我国工人阶级遵照毛主席关于“**独立自主,自力更生**”的伟大教导,发展了符合我国资源情况的普通低合金钢系列。各种用途的普低钢已在化工、炼油、船舶、桥梁、电站等行业得到广泛应用,取得了巨大成绩。过去,国内使用的低合金钢多是热轧状态、正火或正火加回火状态使用。屈服强度在 50 公斤/毫米² 以下。随着化工、炼油设备向大型化发展,提出了发展更高强度的调质型低合金钢的要求。大型设备采用高强度钢可以收到减轻设备重量、节约钢材、方便运输等效果。为此,“一机部化工、炼油设备四·五技术赶超规划”中提出了研制屈服强度 70 公斤/毫米² 级无铬镍调质型低合金高强度压力容器用钢的要求。

冶金部北京钢铁研究院和太原钢铁公司于 1971 年开始承担该项新钢种的试制任务。通过实验室摸索和半工业试验,当年试制成功了屈服强度 70 公斤/毫米² 级调质型低合金高强度 14MnMoNbB 钢。接着又在 71~72 年以 100 吨平炉、50 吨电炉、50 吨纯氧顶吹转炉进行了工业生产。先后轧成不同厚度的板材 100 多吨。与 14 MnMoNbB 钢配用的焊条、焊丝由北京钢铁研究院和天津焊条厂、天津材料研究所等单位进行试制,生产了焊条 10 吨、焊丝 1 吨多。哈尔滨焊接研究所承担了电渣焊焊丝的试制工作。高压容器配套的 14 MnMoNbB 钢锻件,71 年由太原重型机器厂试制成功。成都无缝钢管厂试生产了一批大口径 14 MnMoNbB 钢无缝钢管。

为考核 14 MnMoNbB 钢对高压容器的适用性,摸索应用该钢种制造不同结构高压容器的工艺问题,一机部指示东方锅炉厂、金州重型机器厂、通用机械研究所等进行 14 MnMoNbB 钢单层、多层和热套式高压容器的试制与爆破试验。兰州化工机械研究所、燃化部第八设计院参加了此项试验工作。试验于 73~74 年进行。目前,内径 $\phi 400$ 单层高压容器、内径 $\phi 400$ 热套高压容器的制造和爆破试验已成功结束,内径 $\phi 400$ 多层高压容器的试验工作正在进行中。

本文对 14 MnMoNbB 钢的试验情况进行简要叙述。着重介绍与焊接工艺有关的内容。

一、14 MnMoNbB 钢的基本性能

1. 14 MnMoNbB 钢的设计指标

经过实验室 32 公斤高频炉、0.5 吨电弧炉的试验基本确定了该钢种的成份。随之经过 8 吨碱性电炉摸索了钢种成份的上、下限。通过半工业性轧板试验及热处理规范的摸索,确定了 14 MnMoNbB 钢的化学成份,机械性能如表 1、2 所示。

表 1 14 MnMoNbB 钢的化学成份 (%)

C	Si	Mo	S	P	Mo	Nb	B	Cu
0.12~ 0.18	0.15~ 0.35	1.30~ 1.80	≤0.03	≤0.03	0.45~ 0.70	0.02~ 0.06	0.0005~ 0.003	0.2~0.4

表 2 14 MnMoNbB 钢的机械性能

板 厚 毫米	σ_s 公斤/毫米 ²	σ_b 公斤/毫米 ²	δ_5 %	ψ %	$\alpha_K - 40^\circ\text{C}$ 公斤·米/厘米 ²
≤50	≥70	≥77	≥14	≥50	≥4

2. 14 MnMoNbB 钢的热处理规范

此钢是以 Mo、Nb 为析出强化元素，并加入微量 B 以提高淬透性的调质型高强度钢，通过试验室热处理试验和半工业生产实践，研制单位推荐的调质处理规范如下：

淬火温度：900~950℃ 回火温度：600~650℃。

化学成份偏上限的回火温度选取上限，化学成份偏下限的回火温度选取下限。

3. 工业生产钢板的机械性能

71~72 年太原钢铁公司先后用 100 吨电炉、50 吨电炉、50 吨纯氧顶吹转炉进行了 14 MnMoNbB 钢的工业生产，轧成厚度为 6、12、16、28、45 及 50 毫米的钢板。这几批钢板的化学成份、机械性能列于表 3、表 4。从表中数据可见，工业生产的钢板达到了设计指标。

表 3 工业生产的 14 MnMoNbB 钢化学成份 (%)

炉 型	炉 号	板 厚 毫米	C	Si	Mn	P	S	Mo	Nb	B	Cu	CE
100 吨平炉	21337 (一)	28	0.16	0.25	1.86	0.019	0.013	0.54	0.016	0.004	0.2	0.62
"	21377 (二)	28	0.16	0.25	1.81	0.019	0.011	0.54	0.015	0.0044	0.32	0.61
50 吨电炉	810226	28	0.12	0.28	1.37	0.019	0.012	0.55	0.040	0.0017	0.23	0.50
50 吨 顶 吹 转 炉	521415	6.12	0.14	0.23	1.51	0.022	0.013	0.51	0.050	0.0020	0.06	0.53
"	621713	16、45 50	0.14	0.22	1.38	0.016	0.011	0.51	0.045	0.0025	—	0.51

$$\text{碳当量 } CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Mo}{4}$$

表4

工业生产的 14 MnMoNbB 钢板机械性能

炉 号	板厚 毫米	热 处 理 规 范	σ_s	σ_b	δ_5	ψ	α_K 公斤·米/厘米 ²		
			公斤/毫米 ²	公斤/毫米 ²	%	%	室温	-20℃	-40℃
21377 (一)	28	920℃ 水淬	86.5	92.0	16.5	54.0	9.0	7.6	4.6
		640℃ 回火空冷	87.0	93.0	15.5	53.0	8.0	7.8	5.6
21377 (二)	28	920℃ 水淬	86.5	91.5	15.5	52.5	8.1	7.6	6.1
		620℃ 回火空冷	87.0	92.5	18.0	60.3	8.9	7.8	6.3
	28	920℃ 水淬	85.0	90.5	17.0	68.0	8.0	6.7	7.1
		640℃ 回火空冷	85.0	90.0	16.5	59.5	7.9	6.3	6.6
	28	620℃ 水淬	82.0	88.5	17.0	59.5	8.1	6.3	6.2
		660℃ 回火空冷	85.0	89.0	17.0	58.0	9.1	6.5	6.6
810226	28	920℃ 水淬	85.0	99.0	15.5	62.0	9.8	9.1	7.7
		620℃ 回火空冷	87.0	91.5	17.5	61.0	11.1	8.8	7.6
	28	920℃ 水淬	81.0	85.0	19.0	67.5	10.6	10.1	8.0
		640℃ 回火空冷	83.5	87.0	17.5	63.0	10.4	9.2	7.6
	28	920℃ 水淬	77.5	81.5	17.5	66.5	11.4	9.8	9.3
		660℃ 回火空冷	79.0	83.5	19.5	55.0	11.5	10.0	9.6
521415	6	930℃ 水淬	86.0	89.0	17.0		5.0		6.0
		660℃ 回火空冷	86.0	89.0	14.0		5.0		6.0
	6	930℃ 水淬	78.5	81.5	17.5		7.0		6.0
		680℃ 回火空冷	78.0	82.0	17.5		7.0		6.5
521415	12	920℃ 水淬	92.0	99.0	16.0	56.5	8.8		4.9
		600℃ 回火空冷	91.5	96.0	16.0	56.0	8.9		6.6
	12	920℃ 水淬	90.0	94.5	16.5	56.0	8.6		5.8
		620℃ 回火空冷	91.0	97.0	10.0	55.0	8.6		6.0
	12	920℃ 水淬	79.5	87.0	16.0	57.5	9.3		6.0
		640℃ 回火空冷	80.0	88.0	15.0	56.0	8.9		6.5
	12	920℃ 水淬	83.5	88.5	15.0	54.5	8.1		6.1
		660℃ 回火空冷	80.0	86.5	17.0	54.0	8.6		6.6
621713	16	920℃ 水淬	85.5	88.5	15.6	56.5	9.0		
		600℃ 回火空冷	85.5	91.0	16.5	58.0	9.4		6.3
	16	920℃ 水淬	82.0	86.5	15.0	58.5	8.5		6.6
		620℃ 回火空冷	82.5	87.5	15.5	60.0	10.0		7.6
	16	920℃ 水淬	77.0	81.5	16.0	61.0	9.4		6.6
		640℃ 回火空冷	79.5	85.0	17.0	61.5	10.3		6.6
	16	920℃ 水淬	70.5	75.5	15.5	61.0	9.0		5.7
		660℃ 回火空冷	72.5	77.5	16.5	61.0	9.5		7.0
621713	45	920℃ 水淬	80.0	85.0	15.5	63.0	12.3		9.4
		600℃ 回火空冷	83.5	86.5	17.5	64.0	16.3		11.8
	45	920℃ 水淬	78.0	82.0	17.0	62.0	12.1		10.0
		620℃ 回火空冷	80.0	85.5	18.0	63.0	15.9		10.0
	45	920℃ 水淬	77.5	82.0	18.0	64.0	14.1		7.0
		640℃ 回火空冷	81.5	85.0	19.0	64.5	17.1		10.6
	45	920℃ 水淬	68.5	73.5	19.5	59.5	14.0		8.8
		640℃ 回火空冷	70.0	75.0	20.0	63.5	15.5		11.0
621713	50	920℃ 水淬	87.0	91.5	18.0	67.5	11.5		8.8
		600℃ 回火空冷	87.0	91.5	18.0	67.5	16.9		13.0
	50	920℃ 水淬	79.0	83.5	17.5	67.0	12.1		7.0
		620℃ 回火空冷	79.5	83.5	17.5	70.0	18.5		7.2
	50	920℃ 水淬	78.5	82.0	15.5	63.5	18.3		6.0
		640℃ 回火空冷	78.5	82.5	18.5	64.0	18.6		15.4
	50	920℃ 水淬	72.0	76.5	16.0	64.0	11.2		6.1
		660℃ 回火空冷	75.5	79.5	18.0	70.0	12.8		10.9

4. 14 MnMoNbB 钢物理性能

为给高压容器设计制造提供数据, 北京钢研院和太原钢铁公司对14 MnMoNbB 钢的相变点、弹性模数、热膨胀系数进行了测试, 结果列于表 5、6、7。用顶端淬火法, 以 $\phi 25$ 毫米的试样测定了该钢淬透性, 见图 1。

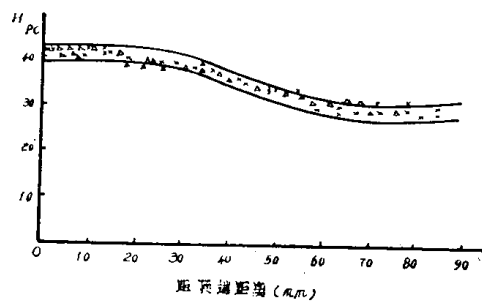


图 1 14 MnMoNbB 钢淬透性曲线

表 5 14 MnMoNbB 钢的临界点 (℃)

炉 号	AC 1	AC 3	Ar 1	Ar 3	Ar'
B 10461	710~720	870~880	820~650	740~780	395~480
B 10462	710	860~865	—	—	395~540

注: Ar' 为贝茵体转变温度

表 6 14 MnMoNbB 钢弹性模数

T (℃)	常 温	1 0 0	2 0 0	3 0 0	4 0 0	4 5 0
E × 10 ⁴ 公斤/厘米 ²	216	212	206	201	101	188

表 7 14 MnMoNbB 钢热膨胀系数

T (℃)	14—100	14—200	14—300	14—400	14—500	14—600	14—700
α × 10 ⁻⁶ /℃	12.2	12.6	13.5	14.4	14.7	15.0	15.0

5. 冲击试验、落锤试验

为了解 14 MnMoNbB 钢的低温韧性及脆性转变温度, 进行了落锤试验和 V 型缺口冲击试验。试验用钢板是太钢 50 吨纯氧顶吹转炉冶炼, 板厚包括 16、45、50 毫米三种。此批钢材炉号为 621713, 化学成份见表 3, 常规机械性能如表 8 所示。

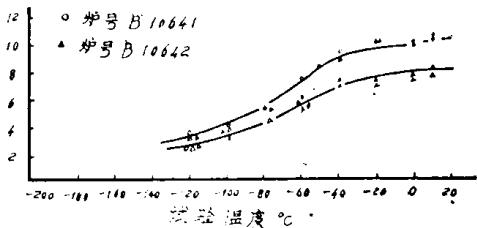


图 2 14 MnMoNbB 钢却贝 V 冲击值与温度的关系

表 8

落锤试验、冲击试验用钢板机械性能

板 厚 毫米	热 处 理 规 范	σ_s 公斤/毫米 ²	σ_b 公斤/毫米 ²	δ_5 %	ψ %
16	930℃ 水淬	81.0	85.6	15.9	—
	660℃ 空冷	80.2	84.4	16.3	
45	920℃ 水淬	79.0	83.0	17.5	60.5
	620℃ 空冷	79.5	82.0	19.0	61.5
50	920℃ 水淬	80.0	86.5	15.0	53.5
	600℃ 空冷	84.5	89.5	14.0	54.0

(1) 落锤试验

试验按 ASTM E 208 进行。厚 16 毫米板加工成 P—3 型试样 (127×51×16 毫米)，厚 45 毫米板加工成 P—2 型试样 (127×51×19 毫米)，用“堆 127” ϕ 4 毫米焊条堆焊脆性焊道。试验结果列于表 9。

表 9

14 MnMoNbB 钢落锤试验结果

评 定 板厚 毫米	试验温度℃				
	室 温	— 5	— 32	— 45	— 50
16	○	○	○	•	•
	○	○	○	○○	•
45				○	•
				○	○

注：○ 未裂 • 裂

据表 9 结果，厚 16 毫米的板 NDT = -45℃，厚 45 毫米板 NDT = -50℃。

(2) 系列低温冲击试验

表 10

厚 50 毫米 14 MnMoNbB 钢系列冲击试验数据

温 度 ℃	U 型 缺 口 试 样				45℃ V 型 缺 口 试 样			
	α_K 公斤·米/厘米 ²			缺口纤维率 %	α_K 公斤·米/厘米 ²			缺口纤维率 %
12	9.8	9.1	9.3	100	6.5	7.5	6.8	100
-40	8.3	10.3	8.8	100	5.1	5.4	4.9	100
-80	6.1	5.6	5.4	0	2.5	2.4	2.1	0
-120	3.4	4.9	3.9	0	1.7	1.0	1.6	0
-196	1.0	1.1	0.9	0	0.9	0.4	0.5	0

表 11

厚 50 毫米 14 MnMoNbB 钢系列冲击试验数据

温 度	U 型 缺 口 试 样				45° V 型 缺 口 试 样			
℃	α_K 公斤·米/厘米 ²		断口纤维率 %		α_K 公斤·米/厘米 ²		断口纤维率 %	
12	16.5	17.2	16.5	100	13.0	12.2	14.7	100
-40	13.9	16.1	13.5	80 80 50	7.9	7.6	>7.6	40、60、70
-80	10.0	8.6	11.6	10 10 30	3.1	2.5	3.7	0
-120	6.9	5.1	7.1	0	0.7	0.7	1.8	0
-196	0.9	0.9	0.9	0	0.4	0.3	0.3	0

从上述落锤试验和系列冲击试验来看, 14 MnMoNbB 钢的韧性是比较好的。

6. 14 MnMoNbB 钢的中温性能

14 MnMoNbB 钢的中温性能见表 12。

表 12

14 MnMoNbB 钢的调质板高温瞬时拉伸试验

试 验 温 度 ℃	σ_s 公斤/毫米 ²	σ_b 公斤/毫米 ²	δ_{10} %	ψ %	试 验 温 度 ℃	σ_s 公斤/毫米 ²	σ_b 公斤/毫米 ²	δ_{10} %	ψ %
室 温	77.8	84.5	12.7	58.4	450	60.8	68.7	8.9	54.0
	78.8	84.3	12.1	63.4		61.4	68.4	9.1	53.0
100	73.3	81.4	10.7	58.0	500	57.3	63.3	7.8	59.5
	73.6	80.5	10.7	56.5		58.1	63.8	10.8	63.5
200	73.3	80.6	10.3	53.4	550	49.9	55.7	11.4	73.5
	72.1	80.4	11.2	55.5		47.6	54.5	9.5	72.5
250	71.4	83.8	10.8	49.5	600	34.3	43.8	14.1	71.7
	72.2	81.2	10.5	50.0		33.7	40.9	18.9	71.5
300	69.8	82.1	11.2	42.0	700	—	18.3	—	48.0
	69.2	81.8	12.6	43.1		—	17.7	—	51.0
350	66.1	77.6	11.0	47.0	800	—	10.7	—	57.5
	66.4	76.3	12.0	49.5		—	—	—	—
400	64.8	74.5	9.1	46.5					
	66.2	76.2	9.1	59.0					

从上表可见在 450℃ 以下该钢随温度的升高强度降低缓慢。可做化工、炼油设备的中温用钢。

二、14 MnMoNbB 钢的可焊性

1. 碳当量计算法

碳当量计算法是一种据合金元素对钢材淬硬倾向的影响, 评定钢材可焊性的方法, 能简便粗略地判断钢材的可焊性, 并预示焊前预热温度。选取的碳当量计算公式如下:

$$C_E = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Mo}{4}$$

按 14 MnMoNbB 钢设计成份计算的碳当量 $C_E = 0.44 \sim 0.67\%$ 。从表 3 可见几批工业生产的钢板, 碳当量 C_E 在 $0.50 \sim 0.62\%$ 范围内。与国内 50 公斤/毫米² 级钢相比碳当量并不高 (18 MnMoNbB 钢 $C_E = 0.50 \sim 0.64\%$)。据国内使用经验, 这种钢应在焊前预热 $100 \sim 200^\circ\text{C}$ 。

2. 最高硬度试验

试板尺寸为 150×300 毫米厚度 28、50 毫米二种, 调质状态。用 $\phi 4$ 毫米 H14 焊条在试板中间堆焊一道长 $100 \sim 125$ 毫米的焊道。焊接规范如下:

焊接电流: 170 安培 焊接速度: 150 毫米/分

每块试板切取焊缝横断向二块, 测定不同部位的硬度, 结果如表 13。试验结果表明, 14 MnMoNbB 钢经过焊接热循环后过热区硬度显著增高。预热 150°C 可使硬度明显下降。

表 13 14 MnMoNbB 钢最高硬度试验结果

板 厚 毫米	预热温度 $^\circ\text{C}$	硬 度 H_V		
		母 材	焊 缝	过 热 区
28	室 温	233、232	302、262	$\frac{370-394}{382}$
	100	235、233	253、251	$\frac{357-370}{362}$
	150	235、245	264、260	$\frac{336-366}{354}$
50	室 温	$\frac{310、254}{310}$	332、345、327	390、423、412
	100	$\frac{261、237}{237}$	261、265、261	345、353、345
	150	$\frac{299、278}{299}$	261、269、265	360、360、345

3. 小铁研试验

试样尺寸及裂纹率判别法见图 3。试板为调质状态。对 14 MnMoNbB 钢厚 16、28、50 毫米的工业生产钢板进行了试验。使用 $\phi 4$ 毫米 H 14 焊条。焊接规范如下:

焊接电流: 170 安培;

焊接速度: 150 毫米/分。

试验结果列于表 14。由表 14 可见, 预热 150°C 可避免裂纹的产生。

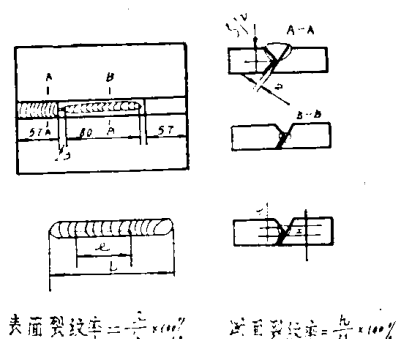


图 3 小铁研试验

表 14 14 MnMoNbB 钢小铁研试验结果

板 厚 毫米	预热温度 ℃	裂 纹 率 %	
		表 面	断 面
16	室 温	100	100
	100	0 *	0
	150	0	0
28	室 温	100 100	100 100
	100	0 0	25.7 22.7
	150	0 0	0.45 1.45
50	室 温	100	100
	100	0 *	0
	150	0	0

* 火口裂纹

4. 十字接头试验

用厚 16 毫米的 14 MnMoNbB 钢调质板进行试验。试样尺寸及焊接顺序如图 4。检验焊缝长 150 毫米，焊条为 H 14 直径 $\phi 5$ 毫米。焊接规范如下：

焊接电流：200~210 安培 焊接速度：100 毫米/分。

试样焊后室温放置 48 小时，进行解剖，结果列于表 15。

表 15 14 MnMoNbB 钢十字接头试验结果

预热温度℃	裂 纹 情 况
室 温	六个断面中，只有一个试样缝 3、缝 4 有裂纹
150	六个断面均无裂纹

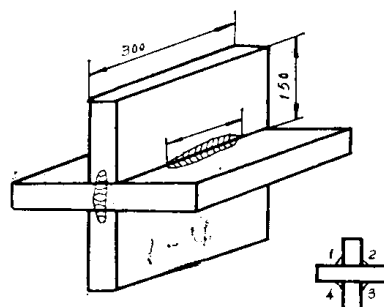


图 4 十字接头试验

从上述几种可焊性试验来看，14 MnMoNbB 高强度钢的可焊性是良好的，并不比 50 公斤/毫米² 级低合金钢的可焊性差。为防止冷裂纹的产生，焊前预热 150℃ 是必要的。

三、14 MnMpNbB 钢锻件性能

14 MnMoNbB 钢锻件 1971 年由太原重机厂试制，先后用 5 吨电弧炉生产了六炉，制成与高压容器配用的卡环、筒体底部二种锻件共六件。锻件的性能符合要求，现介绍二种锻件各一件的检验结果。化学成份如表 16，机械性能见表 17，取样部位如图 5。锻件的热处理规范如下：

930~940℃ 3 小时正火 + 920℃ 2.5 小时水淬 + 590~600℃ 1 小时回火。

表 16 14 MnMoNbB 钢锻件化学成份 (%)

炉 次	C	Si	Mn	Mo	Nb	Cu	B	P	S
C—1322	0.16	0.26	0.53	0.53	0.035	0.11	0.0011	0.024	0.030
B—131	0.18	0.25	0.61	0.61	0.049	0.11	0.0013	0.022	0.023

表 17 14 MnMoNbB 钢锻件机械性能

名 称	编号	σ_s 公斤/ 毫米 ²	σ_b 公斤/ 毫米 ²	δ_5 %	ψ %	α_K 公斤·米/厘米 ²	H _B
卡 环 (C—1322—1)	1	70.0	77.5	19.0	64.5	10.9 10.3	269
	2	79.5	85.0	17.0	55.5	11.3 12.7	288
	3	66.5	75.5	18.0	66.0	13.2 11.4	246
	4	72.0	80.0	16.5	65.0	14.0 12.7	266
筒 体 底 部 (B—131—1)	1	97.0	101.5	15.0	57.0	9.4 8.8	321
	2	72.0	88.0	14.0	63.0	7.9 6.9	282
	3	96.5	103.5	15.5	55.5	8.8 8.8	329
	4	76.0	86.0	14.5	60.0	10.6 10.3	341
	5	73.0	83.5	16.0	56.5	7.6 8.2	275
	6	79.0	88.5	16.0	61.5	7.6 9.0	321

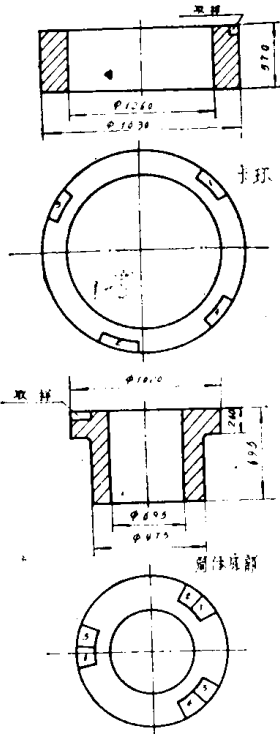


图 5 14 MnMoNbB 钢锻件取样部位

四、14 MnMoNbB 钢焊接工艺试验

1. 手工焊试验

与 14 MnMoNbB 钢配用的焊条是天津焊条厂生产的碱性低氢焊条 H14。熔敷金属的化学成份、机械性能见表 18、19。

表 18 H14 焊条 (φ 5) 熔敷金属的化学成份 (%)

C	Si	Mn	Mo	S	P
0.07	0.31	1.88	1.35	0.010	0.016

表 19

H14 焊条 ($\phi 5$) 熔敷金属的机械性能

σ_s 公斤/毫米 ²	σ_b 公斤/毫米 ²	δ_5 %	ψ %	α_K 公斤·米/厘米 ²	
				室 温	-40℃
77.5	84.8	21.2	65.7	15.2	5.8
77.9	85.0	17.8	66.4	14.1	4.8
76.5	83.5	19.9	66.9	15.0	

为了解焊缝处于不同热处理状态的性能，做了几组手工焊对接试板。板厚 16 毫米，开 V 型坡口，焊前预热及层间温度保持 150℃，以 $\phi 5$ 毫米焊条施焊。焊后状态的性能列于表 20、21，焊后经不同规范的调质处理之性能详见表 22、23。

表 20

14 MnMoNbB 钢调质板手工焊缝性能

σ_s 公斤/毫米 ²	σ_b 公斤/毫米 ²	δ_5 %	ψ %	α_K 公斤·米/厘米 ²	
				室 温	-40℃
75.4	87.5	22.8	68.7	11.8	11.3
77.5	87.1	22.3	67.4	15.4	6.0
80.6	89.9	24.0	67.5	12.6	11.2

表 21

14 MnMoNbB 钢调质板手工焊接头性能

σ_b 公斤/毫米 ²	冷 弯 $d = 3a$	α_K (公斤·米/厘米 ²) (热影响区冲击韧性)	
		室 温	-40℃
89.4	180°	13.3	6.8
89.7	180°	16.3	8.0
89.0	③66°裂	16.9	11.0

注：（1）接头拉捧断裂起始于熔合线，呈 45° 向热影响区裂开。
 （2）热影响区冲击试样缺口开在熔合线外 0.5 毫米处。
 （3）试样边缘焊接咬肉缺陷。

表 22

14 MnMoNbB 钢回火温度对手工焊焊缝性能的影响

热 处 理 规 范		$\sigma_{0.2}$ 公斤/毫米 ²	σ_b 公斤/毫米 ²	δ_5 %	ψ %	α_K 公斤·米/厘米 ²	
						室 温	-40℃
930℃ 水淬	590℃ 回火空冷	96.2	98.6	17.7	69.5	6.1	1.5
		94.3	95.6	10.0	30.1	8.4	1.4
						6.3	4.4
	620℃ 回火空冷	86.0	89.6	16.8	67.1	12.1	6.4
		81.5	87.6	16.7	66.2	13.1	5.1
						14.6	8.4
	650℃ 回火空冷	73.8	80.9	18.7	70.5	19.9	13.5
		73.0	80.6	20.3	71.2	20.8	10.8
						20.4	10.8
	680℃ 回火空冷	59.0	75.5	21.2	69.1	23.9	12.6
		65.2	75.4	22.3	34.1	18.5	15.8
						17.6	14.0

表 23

14 MnMoNbB 钢手工焊接头调质状态的性能

热 处 理 规 范	σ_b 公斤/毫米 ²	冷 弯 $d = 3a$	α_K 公斤·米/厘米 ² 热影响区冲击韧性 (-40℃)
930℃ 水淬	85.2	180°	13.5
630℃ 回火空冷	84.4	180°*	9.9
			13.5
930℃ 水淬	76.6	180°	18.0
660℃ 回火空冷	78.4	180°	20.2
			18.4

注：（1）接头拉棒断于母材

（2）冲击试样缺口开在熔合线外 1 毫米

*（3）在焊缝边咬肉处开裂约 4 毫米

上述试验说明以 H14 焊条施焊的焊缝及接头无论在焊后或适当规范的调质状态下，均能得到与母材相当的良好综合机械性能。

2. 埋弧自动焊试验

自动焊丝为北京钢研院试制的 125 号焊丝。化学成份如表 24，选用 350 焊剂。电源——直流反接极性。

表 24

125 号焊丝化学成份 (%)

焊 丝 直 径 毫米	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
φ 3	0.07	0.13	1.80	0.014	0.018	0.69	2.15	0.84
φ 4	0.08	0.13	1.80	0.014	0.017	0.68	2.17	0.90

试验用对接试板，板厚 45 毫米调质状态，单面 U 型坡口。焊接规范如表 25 所示，焊前预热；层间温度均 150℃。焊后 48 小时切取试样，试样毛坯经 600℃ 空冷。考虑到实际产品冷速慢，可能对韧性有影响，所以做了一组 600℃ 炉冷的试样。性能试验结果列于表 26、27。焊缝及热影响区组织列于表 28。

表 25 对 接 试 板 自 动 焊 规 范

焊 丝 直 径 (毫米)	焊 接 电 流 (安培)	焊 接 电 压 (伏特)	焊 接 速 度 (米/时)
$\phi 3$	450	32~26	27
$\phi 4$	650	32~36	27

表 26 14 MnMoNbB 钢自动焊试板机械性能

焊 丝 直 径 毫米	取 样 部 位	σ_s 公斤/毫米 ²	σ_b 公斤/毫米 ²	δ_5 %	ψ %	冷 弯 $d = 3a$
$\phi 3$	焊 缝	75.5	80.0	19.5	58.5	—
		74.5	79.5	19.5	56.0	
		68.0	76.5	19.0	56.5	
	接 头	—	79.5 (断于焊缝外) 77.5 (断于焊缝上)			180° 180°
$\phi 4$	焊 缝	68.5	78.5	19.0	60.0	—
		68.5	78.5	20.0	59.5	
		66.5	78.5	18.0	57.5	
	接 头	—	78.5 (断于焊缝上) 82.0 (断于焊缝上)			180° 180°

表 27 14 MnMoNbB 钢自动焊试板冲击试验
(α_K 公斤·米/厘米²)

焊 丝 直 径 毫米	缺 口 位 置	600℃ 保温 3 小时空冷		600℃ 保温 3 小时炉冷	
		室 温	-40℃	室 温	-40℃
$\phi 3$	焊 缝	9.3	5.4	8.0	5.9
		7.4	5.3	9.0	8.0
		8.9	7.4	8.9	7.1
	熔 合 线	18.4	14.5	18.4	5.6
$\phi 4$	焊 缝	17.8	2.5	18.4	4.9
		7.5	5.8	10.0	11.7
		10.5	7.3	11.8	8.6
	熔 合 线	9.0	7.8	11.3	8.8
		7.9	7.0	10.3	9.0
		21.6	5.0	17.5	15.4
		20.6	16.4	15.0	10.5
		19.8	15.5	19.8	9.3