

技 术 革 新 活 叶 資 料 031

球 墨 鑄 鐵

焊 接 研 究 阶 段 报 告

第一机械工业部新技术宣傳推广所編



机 械 工 业 出 版 社

球墨鑄鐵焊接研究阶段报告

球墨鑄鐵是一种新的工程材料，它与普通灰口鑄鐵的最大区别就是在液状鑄鐵中加入鎂或其他球化剂使石墨成圓球状存在，而我們知道灰口鑄鐵的石墨是成片状存在的，这种石墨存在形状的改变大大提高了鑄鐵的强度及塑性性能，这由表 1 可以看出。

表 1

性 能	灰口鑄鐵	球墨鑄鐵	可鍛鑄鐵	鑄 鋼
拉力强度極限(公斤/公厘 ²)	12~38	40~60	30~40	40~60
延伸率(%)	无	1.5~15	3~12	10~28

表中資料表明：球墨鑄鐵的拉力强度極限与鑄鋼相同，而大大高于灰口鑄鐵及可鍛鑄鐵，球墨鑄鐵的塑性大大高于灰口鑄鐵而与可鍛鑄鐵及鑄鋼相近，而我們知道鑄鋼的成本高，鑄造性能也不及鑄鐵，可鍛鑄鐵的工艺过程很复杂，而球墨鑄鐵比鑄鋼便宜，工艺过程也比可鍛鑄鐵簡便，故在許多場合下用球墨鑄鐵代替鑄鋼及可鍛鑄鐵有重大的經濟价值。

球墨鑄鐵在我国已开始广泛应用，这种情况給焊接工作者提出了一个重要的課題，就是解决球墨鑄鐵的焊补問題，因为球墨鑄鐵在鑄造过程及使用过程中总会出现各种缺陷，如縮孔、夾渣、裂縫及磨損等，具有这些缺陷的鑄件如不进行修复就成了廢品，造成重大的經濟損失，故研究如何利用焊接方法修补在鑄造过程中及使用过程出現的各种缺陷，使廢品复活具有重大的国民經济意义。

球墨鑄鐵的可焊性比灰口鑄鐵的可焊性更差，这是因为在球墨鑄鐵中含有鎂，而鎂是促使白口形成的因素，故焊接球墨鑄鐵时在焊縫热影响区出現白口的傾向比在焊接灰口鑄鐵时更大，焊縫热影响区白口的存在使該区变硬变脆，增大了加工的困难，并且使接头机械性能下降，为了改善这种情况，常需采用焊前預热或焊后热处理来解决。

底下是我們进行球墨焊接研究的初步結果。

材料：我們使用的球墨鑄鐵母材有二种基体，一种为铁素体基体（MQ-1），这种基体是通过高温石墨化退火获得的，另一种为珠光体加铁素体的基体（MQ-2）这种基体是鑄造后未經过热处理获得的，这二种不同基体的母材的化学成分是相同的。其成分如下：

C——3.02~3.67%	Si——1.75~2.39%
Mn——0.46~0.67%	S——0.012~0.065%
P——0.072~0.144%	Mg——0.06~0.097%

表 2 母材机械性能

基 体	拉力强度極限 (公斤/公厘 ²)	延伸率 (%)
铁素体(MQ-1)	40~48	10~8
珠光体加铁素体 (MQ-2)	50~60	1.5~6

母材的形状及尺寸如圖 1。

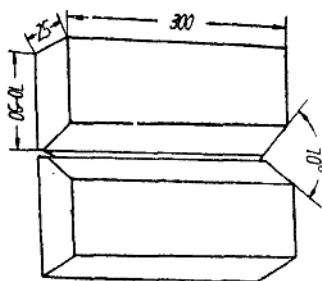


圖 1 母材形状及尺寸。

第一部分 手工电弧焊

一、利用低碳鋼焊条焊接球墨鑄鐵

低碳鋼焊条是一种很便宜的焊条，所以首先对利用低碳鋼焊条焊接球墨鑄鐵进行了試驗研究，苏联巴然諾夫等人曾用 QY-1 低碳鋼焊条焊接球墨鑄鐵，發現即使把工件預热到 750°C，在焊縫与母材交界区上亦难避免碳化鉄产生，而且焊縫是經常出現裂縫。裂縫的产生主要是由于焊縫含碳及硅很高，因而使焊縫变得很硬很脆所致，焊縫中的碳及硅主要是由于焊接时融化母材过渡而来的。

要使焊縫的抗裂紋性能提高，必須設法使焊縫中的碳及硅量减少，

根据这一概念出發，我們就選擇了放氧性較強的矿石作塗料，以加强焊縫中碳及硅的燒損，进一步提高焊縫抗裂紋性能，实验証明，这样作法是有效的。

1. 焊条制造：焊芯为CB-08，直徑为3公厘。

經過多次研究、試驗，取得了較好的配方：

大理石	40 %
赤鉄矿	60 %

水玻璃比重为1.35，赤鉄矿大于60%时，焊縫脫渣困难，小于60%則焊縫抗裂縫性能下降。

这种配方的目的是在于增强藥皮的放氧性能，成分簡單，来源丰富，价格低廉。

因焊条制作量有限，所以都用手工沾制，其工艺性能很好，能保証藥皮表面的光滑、均匀和同心性。

最合适藥皮厚度为1.2~1.3公厘，厚則脫渣困难，薄則放氧不足燒損碳及硅，能力下降，焊縫产生裂縫。

焊条沾出后于空气中凉干24小时，然后在350°C高温并經保溫2小时的烘干。在每次焊前都要經過350°C、1~2小时的烘干，以免潮湿。

2. 焊接試驗：

a) 电流选择：为减低母材的熔化应用直流电源，并用反接法。試驗証明也可应用交流电源。

电流选择是按焊縫的位置来改变的，在堆焊第一層时尤其是在边缘处应用小电流，在保証質量的情况下愈小愈好，其焊接速度要快些。

按焊縫位置(圖2)决定的具体电流、大致如下：

- 1 和 3 焊縫用电流 60~70 安培；
- 2 和 4 焊縫用电流 85 安培左右；
- 其他各焊縫用电流 100 安培左右。

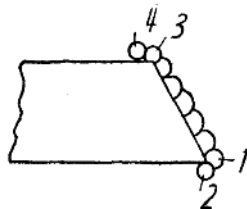


圖 2

6) 焊接工艺: 在铁素体基体的球墨铸铁上堆焊长度不大于 150 公厘的焊缝, 一般不致发生裂纹, 但为了可靠起见焊前应将工件预热到 300°C , 保证整个工件充分热透, 焊接过程中, 尽量保持工件的预热温度 (主要是在开始焊接时, 当随焊缝金属的增加, 热量也就提高了, 影响不大) 在施焊中防止, 冷的空气流侵袭工件, 以致急冷而裂, 如果焊件温度和焊接次序, 以及规范选择恰当的话是不易产生裂纹的。

把预热好的工件, 首先堆上一层上述放氧性焊条 (即前述的配方), 其焊接顺序如图 3, 焊好一块后, 用热石棉保温, 再焊另一块, 其次序相同。当两块都焊好后, 对在一起, 中间留 2~3 公厘的间隙, 然后用直径为 4 公厘的 YONI-13/45 的焊条把破口填满, 按下面次序进行。多层焊时用上述放氧焊条则会脱渣困难。

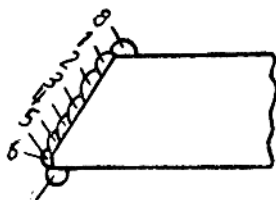


圖 3

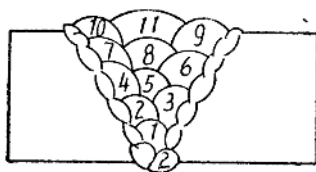


圖 4

操作过程中, 在层与层, 缝与缝间一定要注意清渣, 尤其是当焊第一层时更应注意, 因所用的电流较低, 焊速又高, 另外应注意的是在用放氧性焊条焊第一层

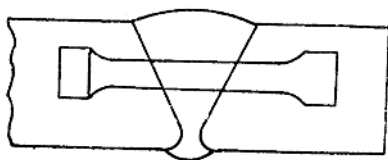
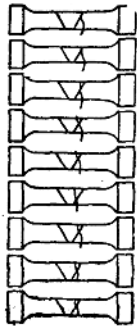


圖 5

时, 要保证电弧的稳定, 尽量避免中间熄弧, 缝与缝相搭接要尽量小, 多则脱渣困难。

3. 机械性能: 拉力试件截取的位置, 如图 5, 其直径为 10 公厘, 标距长度为直径的五倍。

表3 焊后热处理对焊接接头的机械性能的影响

編 号	机 械 性 能		断 裂 位 置
	强度極限(公斤/公厘 ²)	延 伸 率 (%)	
20	36.2	2.0	
	28.8	0.6	
	32.6	1.0	
22	29.3	5.2	
	32.6	5.5	
23	35.5	5.2	
24	36.0	4.0	
	30.6	2.0	

說明:

编号 焊后热处理规范

20 未經热处理。

22 加热到740°C保温4小时, 然后爐中冷却。

23 加热到950°C, 保温3小时后, 取出在空气中冷却至750°C再保温4小时, 随爐冷到600°C取出空冷。

24 加热到750°C, 保温4小时, 随爐冷到600°C, 取出在空气中冷却。

在预备实验时曾将一个焊接接头放入爐中, 加热到950°C, 保温3小时, 随爐冷到740°C, 保温4小时, 爐冷到600°C, 再空气冷, 結果發現热影响区已恢复为铁素体为基体的球墨鑄鉄, 但在用放氧低碳鋼焊条堆焊处則出現网状碳化物这說明冷速过慢对该区是不利的。

4. 各种热处理规范对硬度变化的影响(見圖6、7、8、9)。

5. 金相組織的觀察: 焊后不經热处理的試样, 發現在母材与焊縫交界区处有連續的碳化物存在, 这由金相組織圖(圖10)可以看出, 連續碳化物的存在大大提高了交界区的硬度及脆性, 并且給进一步机械加工带来了困难。

焊后經過 740°~750°C 保温4小时的热处理, 可使交界区的碳化

编号: 22

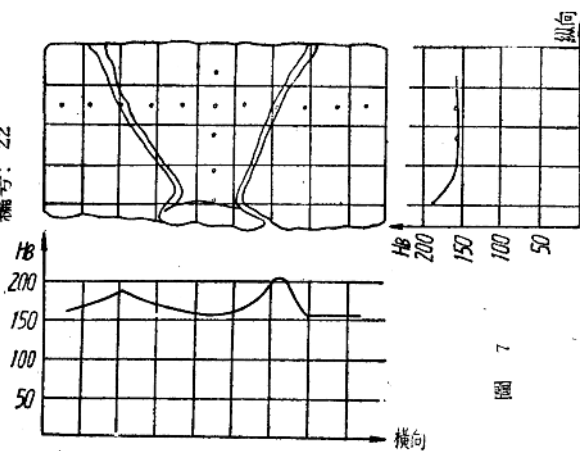


圖 7

编号: 20

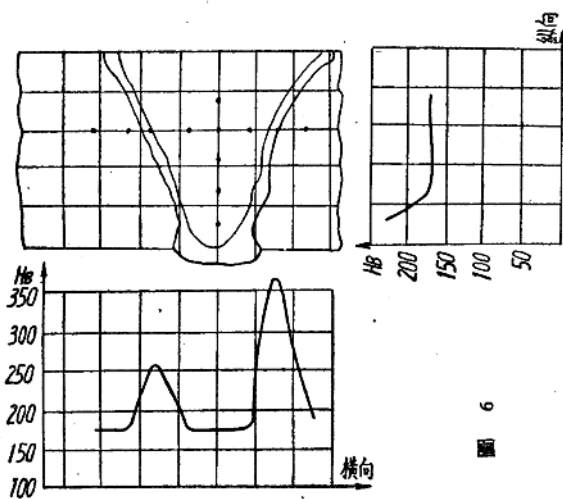


圖 6

编号: 24

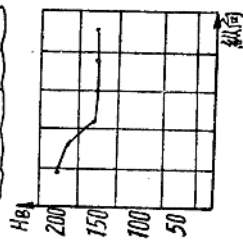
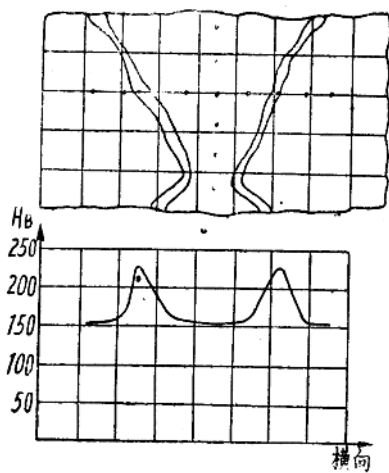


图 9

编号: 23

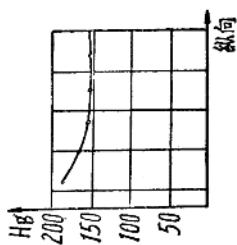
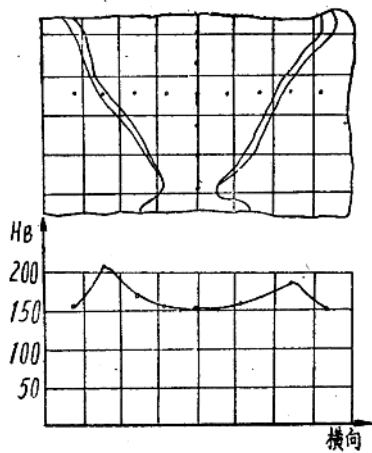


图 8

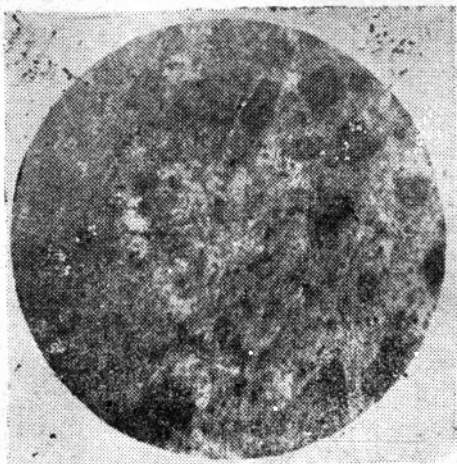


圖10 20号試件交界区金相組織圖， $\times 90$ (3%硝酸酒精腐蝕)。

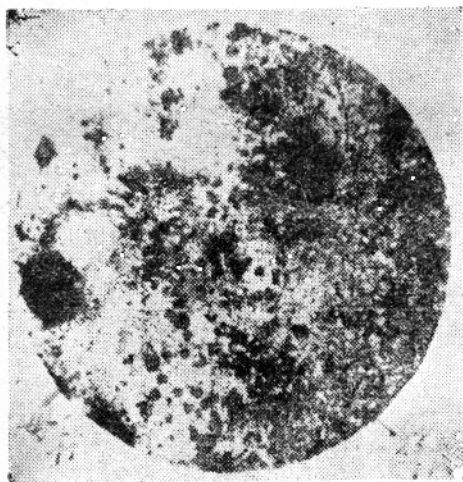


圖11 24号試件交界区金相組織圖， $\times 90$ (3%硝酸酒精腐蝕)。

物消除大部分，硬度下降很多，圖 11 即表示了这种組織的变化。

試件經過950°C 3 小时空冷及740°C 4 小时的焊后热处理，完全消除了交界区的碳化物，并且使热影响区又恢复为铁素体基体的球墨鑄鉄，这由圖 12 可以看出，故性能获得进一步改善。

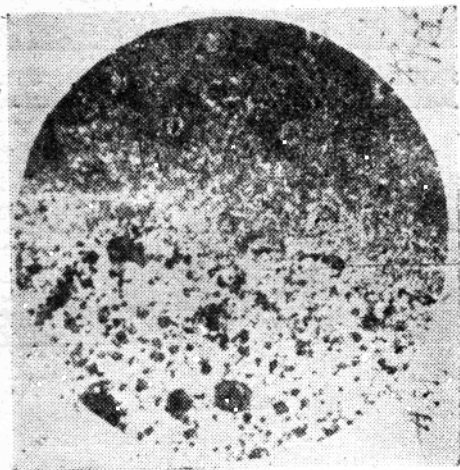


圖12 23号試件交界区金相組織圖，×90（3%硝酸酒精腐蝕）。

二、利用球墨鑄鉄焊条焊接球墨鑄鉄

研究这种焊条的目的是使焊缝也获得球墨鑄鉄的組織使焊缝具有母材同样的性能，从經濟方面考虑，球墨鑄鉄焊条并不貴。

我們对铁素体作基体的球墨鑄鉄及铁素体加珠光体作基体的球墨鑄鉄分别进行了試驗研究，以企圖获得等强度的焊接接头，下面是我們的研究結果。

I. 首先我們进行了以ЭЧ-4 焊条(其成分为 C3.25%, Si3.65%, Mn0.37%, S0.010%, P0.039%, Mg0.138%) 焊接МЧ-2 (成分見前) 母材之研究經多次調整藥皮配方。最后肯定藥皮配方为：石墨32%，硅鉄8%，整个藥皮占焊芯重6%，焊接前将工件預热到730°C，

焊后在石棉中冷却，所用焊条直径为6公厘，焊接时把二根焊条并在一起，焊接电流为550~600安培，电源可用交流或直流。試件形状及尺寸与前面低碳鋼焊条时相同，焊縫金屬化学成分結果如下：

C	Si	Mn	S	P	Mg
4.15%	3.73%	0.42%	0.011%	0.052%	0.038%

表 4 焊縫接头的机械性能

编号	焊后热处理规范	拉力强度極限 (公斤/公厘 ²)	延伸率(%)	断 裂 情 况
31	未热处理	47	1.7%	断于焊縫
		52	1.3%	断于热影响区
32	900°C保温2小时随爐冷却	51	2.7%	断于母材断面疏松
		46	4.1%	断于焊縫

机械性能表明焊接接头已分別达到B4-50-1.5, B4-45-5的要求。

焊接接头硬度情况如右边的圖表所示。

焊縫金屬組織表明在焊縫不热处理时焊縫球化良好，基体为鉄素体加珠光体，經900°保温2小时，随爐冷却的热处理后焊縫中鉄素体大为增加。

二种焊接接头均容易加工。

我們也曾試驗过仅用石墨粉作藥皮的配方，藥皮占焊芯重量的3.5%、工件預热溫度

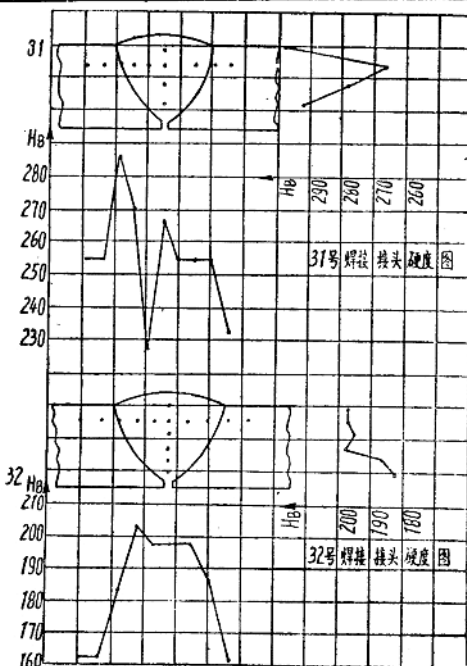


圖 13

为500℃，焊后在石棉中冷却，将二根直径为6公厘的焊条并联在一起应用，焊接电流为500~600安培，用500℃预热时，在焊缝及热影响区有莱氏体及渗碳体存在，故焊后需经热处理，以改善金相组织，我们选择的热处理规范为900℃保温2小时，空气冷，经热处理后的机械性能列于表5。

表 5

编号	焊后热处理规范	拉力强度极限 (公斤/公厘 ²)	延伸率(%)	断 裂 情 况
37	900℃保温2小时， 空气冷	54	2.3%	断在交界区
		48	1.7%	断处有夹渣
		53	1.9%	断在焊缝

热处理后的焊接接头硬度情况如图14所示。

热处理后的接头金相组织已完全消除了莱氏体及渗碳体，其组织如图15所示。

II. 接着我们又进行了M4-1母材的焊接研究，首先试验了用34-3焊芯（其成分为C3.34%，Si3.49%，Mn0.39%，S0.017%，P0.039%，Mg0.176%）。

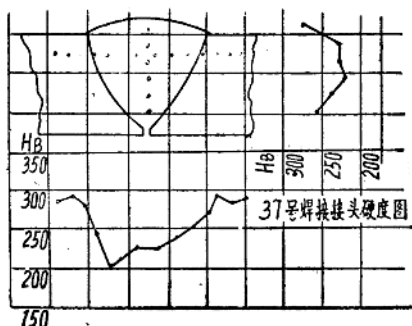


图 14

焊接所用药皮成分

为石墨90%，硅铁10%，药皮占焊芯重的6%，焊前将工件预热到730℃，焊后在石棉中冷却，焊条直径为6公厘，将两根焊条并联在一起应用，所用电流为550~600安培，焊接接头机械性能列于表6。

上述焊接接头机械性能未达到M4-1母材等强度的要求，进一步又研究了利用34-5焊条（其成分为C3.05%，Si3.6%，Mn0.41%，S0.0051%，P0.050，Mg0.10%）焊接M4-1母材的问题，所用药

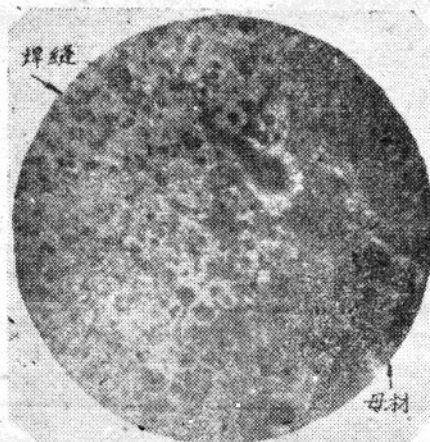


圖15 37号試件交界区金相組織圖， $\times 90$ 。

表 6

編號	焊后热处理规范	拉力强度極限 (公斤/公厘 ²)	延伸率(%)	断 裂 情 况
33	未热处理	41	0.8	断在交界区，断面有夹渣
		44	3.1	断在交界区
36	950°C保温3小时， 爐冷750°C保温4小时	42	4	断在母材上
		44	4.6	断在母材上

皮为石墨100%，藥皮重占焊芯重3%，工件先預热到600°C，以免焊接过程中产生裂縫，焊后在石棉中冷却，所用焊芯直径为6公厘，焊接电流为250~300安培，焊缝化学成分如下。

表 7 焊后經過退火的焊接接头的机械性能

編號	焊后热处理规范	拉力强度極限 (公斤/公厘 ²)	延伸率(%)	断 裂 情 况
38	950°C保温3小时，	43	6%	断于母材上
	爐冷，750°C保温4	45	11%	
	小时，爐冷到600°C	42	8.6%	
	空气冷	46	9.2%	断在焊缝上

C	Si	Mn	S	P	Mg
3.22%	3.55%	0.38%	0.009%	0.033%	0.03%

焊接接头机械性能已基本上达到与母材等强度要求。

焊接接头硬度情况如图 16 所示。

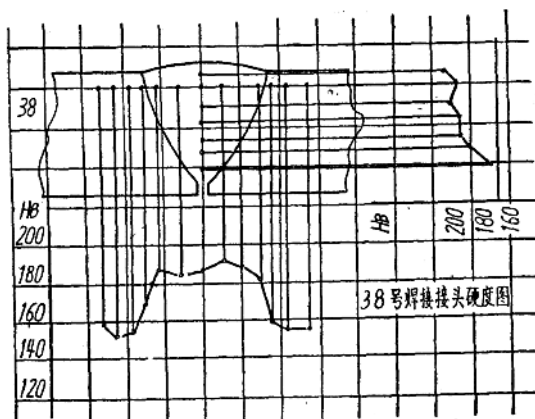


圖 16

金相組織觀察表明焊縫及熱影響區全為鐵素體基體的球墨鑄鐵。

三、用鎳——鉻焊條焊接球墨鑄鐵

考慮這種焊條的根據是：

- 1) 鎳鉻焊條有很好的強度及很高的塑性；
- 2) 能得到奧氏體組織增大了碳的熔解度而大大減少了碳化物的形成；
- 3) 鎳是促進石墨化的元素。

焊條

④ЭНТВ-3

鋼芯 CB-0X18H₃

藥皮	大理石	螢石	低碳錳鐵	硅鐵	鈦鐵	二氧化鈦
	42%	39%	2.5%	4.76%	5.5%	6.24%

②YJ-8

鋼芯 CB-X25H20

藥皮	大理石	螢石	低碳錳鐵	硅鐵	鈦鐵	二氧化鈦
	40	44.5	5	2.5	3	5

工艺試驗

在如圖 17 所示的球墨鑄鐵試件上堆焊時，用 ЭИТВ-3 焊條預熱到 350°C 還不能有把握的消除裂紋，而用 YJ-8 焊條，冷堆焊鐵素體與珠光體加鐵素體的球墨鑄鐵件時，可以不產生裂紋。

用直流反接，電流尽可能小。

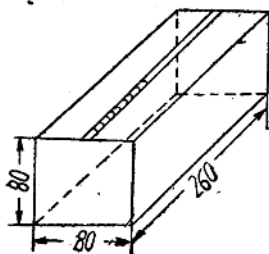


圖 17

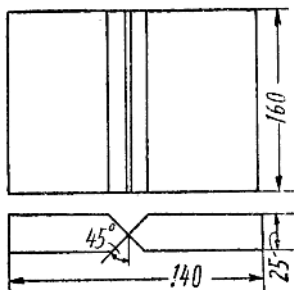


圖 18

其他如穩弧性能、脫渣性、復蓋性，都還滿意，飞溅較小。

機械性能試驗的試件形式及尺寸如圖 18 所示。

用 YJ-8 焊條焊厚件時必須用 X 形剖口，兩邊對稱地焊，因為它的收縮應力及變形很大，如用 V 形剖口，焊最後幾層時就容易在溶合區產生裂紋。

圖 20 是堆焊時的次序：從 1 開始，順次 1→2→3→4→5→6→7→

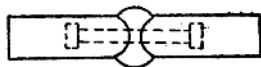


圖 19 拉伸試件的取法。

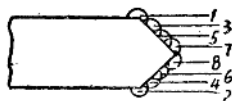


圖 20 焊接次序，先堆焊剖口兩邊。

8, 堆好两边后, 再焊中间。

顺序是从 1 开始, 1→2→3→4→5→6→7→8, 余类推。



圖 21

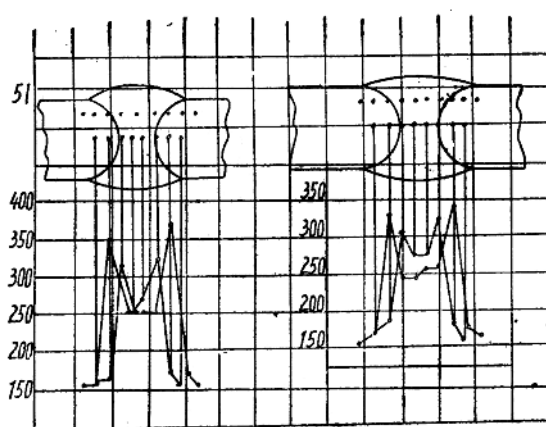
✓ 焊条直径 $d = 3$ 公厘

焊接电流 $I = 70 \sim 75$ 安培

表 8 試驗結果

编号	焊后热处理规范	拉力强度極限 (公斤/公厘 ²)	延伸率(%)	断 裂 情 况
51	沒有热处理	40	5%	断于交界区
		39	42%	断于交界区
52	540°C 保温 4 小时 后, 拿出来空气冷	43.2	6%	断于交界区
		38.7	3.7%	断于交界区

焊接接头硬度分布示于圖22。



51号焊接接头硬度圖

52号焊接接头硬度圖

圖 22

金相組織觀察。

在熔合區有不連續的碳化物存在，經回火也不能消除。

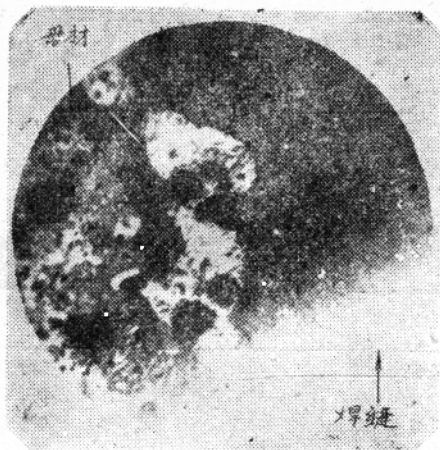


圖23 交界區金相組織。



圖24 焊縫金相組織。