

鐸接生产及科学研究总结汇编

第一輯



清华大学鐸接教研組

1959年2月

序 言

自從黨中央強調指出學校進行生產勞動的重要意義之後，清華大學銲接專業的全體師生員工都積極投入了轟轟烈烈的勤工儉學運動之中，經過短短的不到一年時間的奮戰，已經在各方面取得了一些初步的成果。

在時間很緊、經驗不足、設備缺乏、材料困難的具體條件之下，清華大學銲接專業能在生產及科學研究上取得一定的成績，是與下列幾個主要因素分不開的：

首先，黨的領導、政治掛帥在這些工作中起了決定性的作用，接受黨組織的直接領導與指示，正確地貫徹黨的方針政策，是許多工作取得成績的關鍵。

其次，所有這些工作都是密切結合生產，為生產或教學服務的，其中還有不少是直接由生產中總結出來的資料，例如“仿蘇 AH—348A 銲藥熔煉及所用電爐制造總結”，“北京一號優質銲條試生產小結”以及“使用 X 射綫探傷的一些經驗總結”等。

再次，這些生產及科學研究項目都是發動了廣大群眾，依靠集體力量來完成的，這也說明了群眾路線在科學技術領域內的巨大威力。

此外，校內外有關單位的協作和幫助也起了很大的作用。

這本“匯編”內收集了我們在銲藥、銲條、銲接設備、銲接工藝以及銲接檢驗等方面的十四篇總結和報告。由於時間倉促，這裡還只收集了我們生產及科學研究總結和報告的一部分，其餘部分將在今後繼續整理出版。同時這本“匯編”因整理付印比較匆忙，錯誤或缺點在所難免，我們希望得到寶貴的意見。

清 華 大 學 銲 接 教 研 組

1959年2月

目 錄

序 言

無毒鋅藥初步研究結果.....	1
仿蘇 AH—348A 鋅藥熔煉及所用電爐製造總結.....	16
“北京一號”、“北京二號”優質焊條試制總結.....	29
“北京一號”優質鋅條試生產小結.....	35
硬鋁在低功率鋅機上點鋅問題的研究.....	39
電容儲能點鋅機設計和試制.....	76
球墨鑄鐵鉄筋閃光對焊試驗報告.....	78
球墨鑄鐵與球墨鑄鐵及鋼的鋅接試驗報告.....	92
球墨鑄鉄件補焊試驗.....	109
灰口鑄鉄補焊試驗總結.....	119
薄板自动焊.....	124
高壓反應筒試制總結.....	126
鍋駝機鍋爐的自动鋅.....	143
使用 X 射綫探傷的一些經驗總結.....	145

無毒銲藥初步研究結果

提 要

本文介紹了清華大學銲接專業和哈爾濱銲接工藝研究所合作研究的，為銲接低碳鋼用的無毒銲藥。該問題是第一機械工業部根據我國工業生產需要提出的。本文介紹的無毒銲藥是以 $\text{CaO—MgO—SiO}_2\text{—Al}_2\text{O}_3$ 為渣系基礎的鹼性銲藥，加入 B_2O_3 作脫氧劑。在銲藥的成份中完全去除了 CaF_2 ； MnO 的含量降低到 3% 左右。此渣系是目前國內外銲藥中還沒有採用過的，因而是首創的。

本文介紹的銲藥與目前工業上常用的高錳高矽銲藥比較，不僅是去除了高錳高矽銲藥銲接時所散發的有毒物質，改善了勞動條件，而且原料中錳礦含量極少，大多為一些價格很低的礦石，因而避免了大量優質錳礦用於造渣的現象，對於我國目前缺乏優質錳礦，意義更大。同時，經進一步全面鑑定，肯定能配合低碳銲絲使用時，成本會更降低，可知其經濟價值也是很大的。

一、序 言

隨着我國工業的飛躍發展，在銲接工作中自動銲和半自動銲的採用已經是非常普遍的了。例如：造船工業中，目前自動銲半自動銲的百分比已佔到 40~70%。但是，目前工業中大量採用的高錳高矽銲藥，如 OCL—45 、 AH—348 ，皆含有 6~10% 的 CaF_2 ；30~50% 的 MnO 。在銲接過程中，放出氟化物氣體和氧化錳混濁物，這些都是有毒的，危害着銲工的健康。由於散發有毒物質，必須增加通風裝置，這也是不經濟的。因此，生產上迫切要求能創造出一種無毒銲藥，這充分體現了黨和國家對勞動人民的無限關懷。

例如：在銲接雜誌 1958 年第五期上，“船體結構銲接自動化問題”一文中就寫到：“……船體結構銲接上的薄弱環節在於封閉艙室內及船台上銲接的自動化，在封閉艙室的銲接，由於目前採用的 OCL—45 ， AH—348 銲劑 CaF_2 的含量較大，施銲時影響銲工健康，故研究試制無毒銲藥是進一步擴大自動化銲接在船體結構上應用的條件之一。”

現以 OCL—45 為例說明其毒性（摘自參考文獻(1)）

測量是在離電弧高 100 公厘處，銲工呼吸的水平綫上進行的。規範為：銲絲直徑 4 公厘；電流 500 安培；電壓 36 伏特；銲接速度 20 公尺/小時。此時：

氟化物濃度為 0.0020 毫克/公升；

MnO 濃度為 0.1~0.2 毫克/公升。

根據衛生條件在銲接生產中，室內的污濁空氣的最大容許濃度為：

氟化物 0.001 毫克/公升；

MnO 0.3 毫克/公升。

此時氟化物濃度大大的超過允許量， MnO 濃度亦接近允許量。

當在封閉容器和通風不良的封閉船艙等內，些別當銲接進行的時間長後，毒氣的濃度將會大大增加，嚴重的危害工人的健康。

因此研究無毒鋅藥的任務就是要將 CaF_2 和 MnO 從鋅藥成分中去除。

從另一個角度來看我國今後在工業中廣泛應用高錳高矽鋅藥的前途是不大的。因為從目前資料來看，我國錳礦資源不足，優質錳礦尤缺，一般含鐵量偏高，不宜用於製造鋅藥。例如：在鋅接雜誌 1958 年第二期上“無錳型鋅劑初步研究報告”一文中寫道：“……我國錳礦資源不足，優質錳礦尤感缺乏。錳礦的主要產地集中在湖南、廣西、貴州、江西一帶。湖南湘潭的軟錳礦，含硫、磷、鐵較低，但現已採完。貴州遵義的錳礦，平均品位雖不高，而儲量較多，能夠選出部分低磷高品位的氧化錳礦，但含鐵量仍超出標準。廣西錳礦的蘊藏量為全國第一，但一般含鐵量仍偏高，不宜用於鋅劑製造。其他如江西、山西、遼寧等地的錳礦，不但品位低，含鐵量更高。”因此選擇適合我國資源條件的鋅藥渣系——無錳鋅藥也是刻不容緩的事。

我們與哈爾濱鋅接工藝研究所合作，進行無毒鋅藥的研究，所研究的無毒鋅藥待進一步鑑定後，如能在工業上推廣，不但消除了毒氣，解決了目前國內高錳鋅藥的生產中原材料的困難，而且由於所用原材料價格低廉（據初步計算，無毒鋅藥爐料的價格只及目前常用的 $\text{OClI}-45$ 鋅藥爐料的 70% 左右），並減少了通風費用，因此在經濟上也是有很大意義的。

在社會主義國家里，黨和國家是無限的關懷勞動人民的健康的。因此在蘇聯有了無毒鋅藥的研究，他們認為高錳鋅藥在鋅接時放出的氧化錳混濁物尚未超過衛生標準，故主要是研究了無 CaF_2 鋅藥。如列寧格勒工學院研究了以 $\text{MnO}-\text{SiO}_2-\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3$ 為渣系基礎、加入礬砂以脫氧的熔煉式無毒鋅藥。

現在世界各國採用的鋅接低碳鋼的鋅藥大多為酸性或弱鹼性鋅藥，按照鋅藥中的含錳量可分為三組：

無錳鋅藥： $\text{MnO} \leq 5\%$ ；

中錳鋅藥： $\text{MnO} 10-25\%$ ；

高錳鋅藥： $\text{MnO} > 30\%$ 。

在蘇聯無錳鋅藥主要是以 $\text{SiO}_2-\text{CaO}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{CaF}_2$ 為渣系基礎的。我國鋅接雜誌 1958 年第二期登載的上海材料應用科學研究所研究的無錳型鋅藥，其渣系仍是以 $\text{SiO}_2-\text{CaO}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{CaF}_2$ 為基礎的。這種類型的鋅藥皆要與特種高錳鋅絲（2—3% Mn）同時使用。在蘇聯沒有廣泛應用這種類型的鋅藥，而在西方國家中用的較多。

蘇聯創造的中錳鋅藥，其渣系是以 $\text{SiO}_2-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{MnO}-\text{CaO}-\text{CaF}_2$ 為基礎的，但抗氣孔和抗熱裂縫的性能都比高錳鋅藥差，故工業上應用不多。

以 $\text{MnO}-\text{SiO}_2-\text{CaF}_2$ 為渣系基礎的高錳鋅藥在蘇聯得到廣泛的採用，這是由於蘇聯優質錳礦極為豐富的緣故。我國現在工廠中亦大都用這種類型的鋅藥。其代表牌號是 $\text{OClI}-45$ 、 $\text{AH}-348$ 。

中錳和高錳鋅藥一般與低碳鋅絲配合使用。

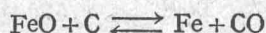
以上三組鋅藥皆不例外的含有 3~7% 左右的 CaF_2 ，在鋅接過程中生成氟化物氣體，而中錳和高錳鋅藥同時會放出氧化錳混濁物，前面已談到這些都是有毒的。

二、渣系的选择与分析

配制無 CaF_2 無 MnO 鋅藥的主要困難在於：去掉了這兩種成份後，使鋅藥的抗氣孔能力下降和促使鋅縫形成熱裂縫。

我們是用鹼性鋅藥加礬砂脫氧的辦法，改善了以上性能。

〔氣孔問題〕 在蘇聯對銲接時產生氣孔的原因有兩種觀點。一種看法認為生氣孔的原因，主要是由於 CO 的作用，在結晶過程時，由於碳和氧化鐵的偏析，因此溫度雖然較低，但下列反應仍能進行：



CO 不溶解於液體金屬內，因此在金屬中生成後，就以氣泡形式析出。但在極晶開始後形成的 CO 由於來不及析出，而在金屬中形成氣孔。

氫只能在形成 CO 氣泡的基礎上使氣泡擴大，因為氫原子的擴散能力很強，不可能聚集在一起形成很高的壓力，因此也就不能形成新的氣相，所以沒有 CO 只有氫是不可能形成氣孔的；但當有 CO 氣泡時，氫原子可向 CO 氣泡擴散，然後形成氫分子，氫分子的擴散能力大大弱於氫原子，故使 CO 形成的氣泡增大。

列寧格勒工學院的實驗証實了以上的看法⁽¹⁾。

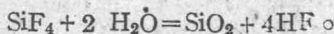
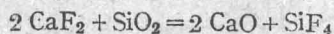
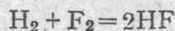
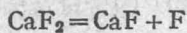
實驗用的銲藥是高錳高矽銲藥 OCL-45 和列寧格勒工學院研究的無毒銲藥，簡稱無毒銲藥（列）。

表 1

銲藥牌號	銲接規範	銲縫金屬中含氫的濃度 毫升/100 克	結 果
OCL-45	I=350 安 V=34~39 伏 V _{OB} =15 公尺/小時 銲0.4 克/100 公厘	3.2	無 氣 孔
無毒銲藥（列）	同 上	6.4	有 氣 孔
無毒銲藥（列）	同上，在坡口中加了一條 φ1 公厘的鋁絲	6.4	無 氣 孔
無毒銲藥（列）	同上，但用粉狀 Si-Fe 代替鋁絲	5.5	無 氣 孔

表中說明用無毒銲藥（列）在坡口中加了還原劑，雖然銲縫金屬中含氫量與未加還原劑前同，但是消除了氣孔，這是因為還原劑脫氧，使結晶開始後，形成 CO 的趨勢下降的緣故。這說明了沒有 CO 單獨只有氫，是不可能形成氣孔的。

另一種看法，認為形成氣孔時氫是起決定性的作用。他們的理由是：由於相變時，氫在金屬內溶解度的變化很激烈，特別是在液相變為固相時，氫會以氣泡析出。認為一般銲藥中的 CaF₂，即用於防止由於氫而生成之氣孔。其反應如下：



此種看法與表 1 實驗結果不符，相變時氫溶解度變化雖大，但由於氫原子擴散能力強，仍不致形成氣孔。

另一方面 HF 在高溫時的分解度也是很大的，故認為 CaF₂ 的作用主要在於去氫的這種說法，亦是值得討論的⁽¹⁾。

當

$T = 6000^\circ\text{K}$ 時，

$H_2 = 2H - 102900 \text{ 卡}$

$$\lg \frac{P_H^2}{P_{H_2}} = -\frac{102900}{4.575 \times 6000} + \frac{22.57}{4.575} = 1.2$$

$$K = 20^{1.2}$$

$$F_2 = 2F + 62600$$

$$\lg \frac{P_F^2}{P_{F_2}} = -\frac{62600}{4.575 \times 6000} + \frac{27.32}{4.575} = 3.45$$

$$K = 10^{3.45}$$

$$HF = H + F - 147650 \text{ 卡}$$

$$\lg \frac{P_H \cdot P_F}{P_{HF}} = -\frac{147650}{5.575 \times 6000} + \frac{23.80}{4.575} = -0.15$$

$$K_p = 10^{-0.15} \approx 0.7.$$

說明在電弧內 HF 的分解度也很大。

根據第一種看法，在我們研究的無毒鋅藥中，是用脫氧劑硼砂代替 CaF_2 的，結果說明抗銹性還是可以的，因此我們贊同第一種看法。

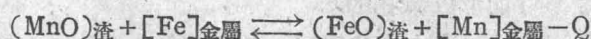
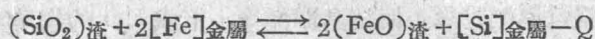
下面談談幾種類型鋅藥從冶金觀點講是怎樣防止生氣孔的。

(一) 以 $\text{OCL}-45$ 為代表的高錳高砂鋅藥。

此種類型鋅藥目前工業上用得最多。

這一類型鋅藥中主要含有三種成分—— MnO ， SiO_2 ， CaF_2 。

鋅接時在渣與金屬介面上存在下列平衡反應：



在高溫時此反應有利於向滲錳滲砂的方向進行。

在鋅接開始處（圖 1 中 a 處）渣和金屬溫度都很高，母材、鋅絲和鋅藥中 FeO 很少，故渣中 FeO 少，鋅絲內含 Si ， Mn 少，渣內 SiO_2 ， MnO 的含量又高，故反應很有利於向滲

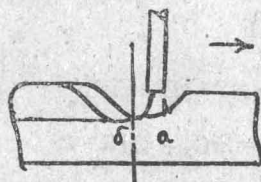
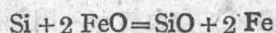
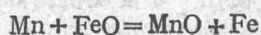


圖 1

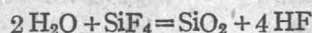
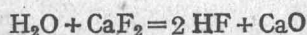
Mn 滲 Si 方向進行， Si ， Mn 不溶於渣只溶於金屬，而 FeO 根據分配定律部分留在金屬中，大部分到渣中，渣中的 FeO 部分與 SiO_2 ，形成複合物 $\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ ，當溫度降低後，在凝固溫度

時，即進行脫氧反應（圖 1 中 6 處），此時因擴散脫氧的結果，自由狀態的 FeO 的濃度已下降，故最後鐸縫中仍滲有 Mn, Si，當熔池開始結晶時，Mn, Si 代替了碳進行還原 FeO 的作用，形成 MnO 和 SiO₂ 到渣中，此時溫度雖已降低，但複合物 MnO·SiO 的熔點並不太高，故仍可到渣中，一般不會形成夾雜物。



CaF₂ 的作用是使渣的活性變大，有利於各種物理化學反應的進行。

同時亦有下列反應進行：



此種反應可認為是使氫的濃度下降了，實際上也是這樣，從表 1 可知用 OCL—45 鐸後，鐸縫金屬的含氫量是比較低的。

上面的反應也可認為 CaF₂ 是起了脫氧的作用，因而減少了形成 CO 而生氣孔的趨勢。

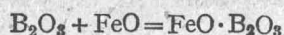
（二）無 CaF₂ 鐸藥：以列寧格勒工學院研究的無毒鐸藥為例⁽¹⁾：

這一類型鐸藥中主要含有 MnO, SiO₂ 及少量的 CaF, Al₂O₃, B₂O₃。

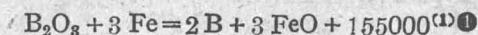
其脫氧反應基本上與 OCL—45 相同，但是用硼酐代替了 CaF₂ 的作用，從而解決了氣孔問題。加入 B₂O₃ 後能大大提高渣的活性並起脫氧作用。

用 B₂O₃ 脫氧的反應如下：

1. 形成複合物：B₂O₃ 為酸性氧化物，可與鹼性氧化物結合成複合物：



2. 開始結晶後硼代替了碳脫氧，而遏制了 CO 的形成：



在溫度很高時，反應有利於向 B₂O₃ 被還原的方向進行，此時 FeO 大部分過渡到渣中，而硼溶解到金屬中。當電弧移走後，此部分溫度降低，開始結晶，此時硼代替了碳與 FeO 作用，從而降低了由於形成 CO 而生氣孔的趨勢。

但在他們加 B₂O₃ 中發現了一個難以解決的矛盾，就是 B₂O₃ 含量增高，對抗氣孔性能提高了，但 B₂O₃ 量的增加受到限制，當達到一定量後，再增加則會在鐸縫金屬中呈現裂縫。

據他們的實驗證明，當 B₂O₃ 在爐料中含量 > 3~5% 時則會在鐸縫中發現許多橫向裂縫，當含量 > 1% 則會使鐸縫金屬中含硼量 > 0.001%，從而使鐸縫金屬強化，因此在爐料中 B₂O₃ 的含量，必須限制在 1% 以下。

生裂縫的原因是由於金屬滲硼後，使其塑性降低的緣故。

因此儘管在他們的配方中含有大量的 MnO₂ 和 SiO₂，但由於 B₂O₃ 的量受到很大限制，因此抗銹性仍不夠滿意。

① 硼還原的反應可能是吸熱反應，此處誤為放熱反應。

當

$\text{MnO} \approx 45\%$, B_2O_3 1%, $d_3 = 2$ 公厘;

$I = 260$ 安, $V_{CB} = 18$ 公尺/小時, 抗銹性為 0.4 克/100 公厘;

而在同樣規範下 OCL_1-45 鐸藥能達 0.8 克/100 公厘。

(三) 無錳鐸藥: 一般無錳鐸藥均需與高錳鐸絲配合使用, 才能使抗銹性滿足要求。

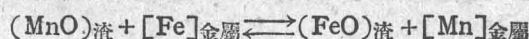
[熱裂縫問題] 引起熱裂縫的主要原因是 FeS 與 Fe 的低熔共晶體, 它分佈在晶粒邊界上, 在鐸接過程中加熱冷卻時, 由於被鐸工件的剛度, 限制了自由變形, 因而鐸縫中存有應力, 在高溫下便有造成裂縫的危險。

現從冶金的觀點分析下列幾類鐸藥是如何防止形成熱裂縫的:

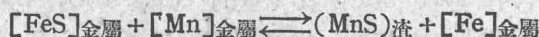
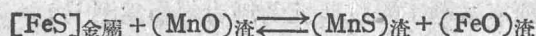
(一) 以 OCL_1-45 為代表的高錳砂鐸藥。

在鐸藥中, 含有百分數較高的 MnO 有利於去除 FeS , 而避免了形成熱裂縫的趨勢。同時在鐸藥中尚含有 CaF_2 , 對去除 FeS 也是有好處的。

鐸接時在渣與金屬介面上, 存在下列平衡反應:



由於擴散脫氧的結果, 鐸縫金屬有滲錳作用, 錳和氧化錳有脫硫作用:



低溫時上列平衡反應, 有利於向脫硫方向進行。

CaF_2 對去硫反應的影響是有利的, 因為 CaF_2 能稀釋熔渣, 增加了熔渣的作用能力, 同時還可能與硫形成揮發性的化合物。

(二) 無 CaF_2 鐸藥: 以列寧格勒工學院研究的無毒鐸藥為例, 這一類型鐸藥大多為高錳鐸藥, 故由於硫而生熱裂縫的傾向是不大的。

(三) 無錳鐸藥: 此類型鐸藥現在世界各國皆與高錳鐸絲用合, 因此可按下式進行去硫反應:



而且鐸藥中一般皆含有 CaF_2 , 這對去硫亦是有利的。

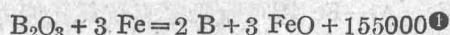
[渣系選擇] 在我們研究的無毒鐸藥中, 要去掉 CaF_2 和 MnO 而且還希望儘量採用我國目前大量生產的價格便宜的低碳鐸絲, 因此我們試圖用鹼性鐸藥加硼砂的辦法, 來滿足抗熱裂縫和抗銹性能的要求。

我們參看了鹼性渣系的平衡狀態圖和幾種鹼性鐸藥的配方, 最後決定按 *Сварочное производство* 1957 年第 9 期上 «Новые составы керамических флюсов на известково-магнезильной основе» 一文中配方加以修改成為我們最初的配方。

該文中配方成份如下:

CaCO_3	42~46%,	MgO	17~19%,
CaF_2	11~12%,	SiO_2	8~10%,
Mn	1.2~1.4%,	Si	0.7~1.9%
Al	1.6~2.1%,	Fe	6~8%,
		其它	< 3%。

2. 開始結晶後硼代替了碳脫氧，而遏制了 CO 的形成。



在溫度很高時，反應有利於向 B_2O_3 被還原的方向進行，此時 FeO 過渡到渣中而硼溶解到金屬中，當溶池溫度降低，開始結晶時，硼代替碳與 FeO 作用，而防止了由於 CO 生氣孔的趨勢。



也可能同時產生下列反應：



此反應促使了第一反應的進行，但不利於形成 $\text{FeO} \cdot \text{B}_2\text{O}_3$ ：

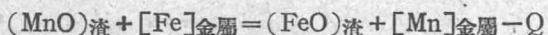
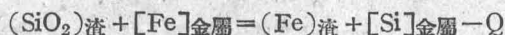


即脫氧產物 B_2O_3 直接與 FeO 作用而脫氧。

因而減少了生氣孔的趨勢，加入很少的 B_2O_3 其作用都是很顯著的；這還因為 B_2O_3 稀釋了渣，提高了渣的活性。

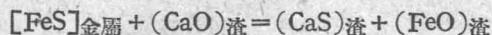
由反應 (2) 知由於採用了鹼性渣系使滲硼的危險大大下降，在爐料成分中，一般 B_2O_3 含量在 3% 左右，但由沖擊值和延伸率來看仍然是滿意的。

其次在鐸藥成分中尚有一定的 SiO_2 和很少的 MnO 。因此下列平衡反應是存在的，上面已談到此反應有利於防止由於 CO 而形成氣孔的趨勢。



此類鐸藥的氧化性小，因而對防止生氣孔亦有利的。

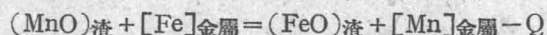
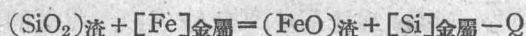
〔脫硫反應〕 渣中 MnO 的含量很低，而在與低碳鋼鐸絲合用時又無加入錳脫硫的作用，因而容易形成熱裂縫。但由於渣是鹼性（鹼度為 2） CaO 含量較高，因而改善了一般無錳鐸藥形成熱裂縫的趨勢。反應如下：



即使鐸藥中只有 3% 的 MnO ，也能充分發揮去硫的作用，因為 MnO 在渣中不易形成複合物（ MnO 本身為鹼性氧化物）。



〔滲合金反應〕 鐸藥的氧化性是很小的，這對防止生氣孔和滲合金都是有利的，其中氧化物只有 SiO_2 含量較高，這是為了改善表面成型所必要的。



當高溫時，有利於向滲錳、滲矽方向進行，此時 FeO 根據分配定律都分到渣中，與其他酸性氧化物部分結成複合物，因而低溫時，雖然反應向脫氧方向進行，仍有滲合金作用。因為渣為鹼性，對滲錳特別有利。

① 見第 5 頁註。

三、 鋅 礬 熔 煉

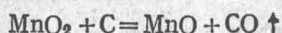
[鋅礬熔煉過程中的物理化學反應] 當爐料加熱至 $100\sim 200^{\circ}\text{C}$ 時，爐料中的水分即開始蒸發，因而在熔煉過程中未作用的爐料受烘乾作用。

當爐料溫度升高至 $700\sim 900^{\circ}\text{C}$ 時爐料中的礦石將發生分解作用。

在 825°C 時碳酸鈣分解：



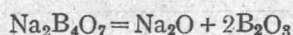
另外二氧化錳在高溫時也還原：



在 $500\sim 750^{\circ}\text{C}$ 時高嶺土中部分結晶水將分解。

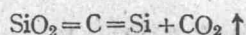
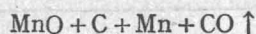
爐料加熱達 $1000\sim 1200^{\circ}\text{C}$ 使部分物質熔化，而部分難熔爐料發生局部熔化，逐漸達到全部熔化，形成許多種形式的複合物。

硼砂是先經過焙燒的，因此結晶水已分解。加入時鋅礬已全部熔化，溫度在 1200°C 以上，故 $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ 迅速分解。



以上是正常情況下的反應。

當熔煉時間太長，在高溫的時間太長，則會發生下列反應：



這樣就使鋅礬中 SiO_2 和 MnO 的含量大大降低，不能滿足要求。

[熔煉過程中加硼酐 (B_2O_3) 的問題] B_2O_3 本身的熔點為 577°C ，沸點大於 1500°C 。我們因為考慮到其沸點較低，故採用了晚加硼砂的辦法，這在工業上大量生產時是難以控制的。但根據列寧格勒工學院的實驗，說明硼砂和其他爐料同時加後，煉出來的鋅礬含 B_2O_3 量不但沒有減少，反而有所增加，如圖 3。

他們是以 $\text{SiO}_2\text{—MnO—CaO—Al}_2\text{O}_3$ 為渣系基礎的。

我們配方是以 $\text{CaO—Al}_2\text{O}_3\text{—SiO}_2\text{—MgO}$ 為渣系基礎的。

在他們的配方中爐料中 MnO 的含量較高，在熔煉過程中 MnO 要燒損，故 B_2O_3 的相對百分數反而高了。

在我們的配方中易燒損的元素不多，故估計 B_2O_3 的百分數不會增高。

圖 3 中曲綫說明 B_2O_3 在熔煉過程中不會大量燒損，這與 B_2O_3 沸點低似乎有矛盾。我們估計可能是由於 B_2O_3 與其他氧化物形成複合物後沸點增高的緣故。

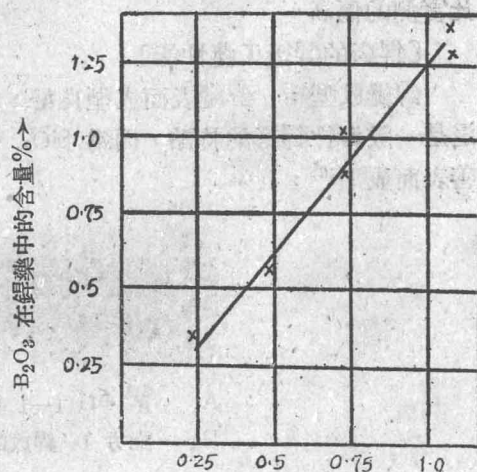


圖 3(1)

這樣看來，硼砂和其他爐料同時加也是切實可行的，所以難控制的說法也是不成立的。

四、 鋅藥的性能

[試驗用鋅藥的化學成分]

表 2

編 号	CaO	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	MnO	B ₂ O ₃	Na ₂ O
14	31.7	27.1	25.7	8.32	2.9	2.88	1.3
21	36.8	27.4	17.9	8.4	4.88	2.92	1.31

上表之化學成分是按爐料折算的。

配方 14 鋅藥及所得渣經化學分析成分如下：

表 3

	CaO	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	MnO	B ₂ O ₃	Na ₂ O	FeO
鋅 藥	35.42	28.43	25.35	10.11	2.37	—	—	—
熔 渣	30.74	27.8	13.8	10.23	1.76	—	—	1.2

[鋅藥的物理性能]

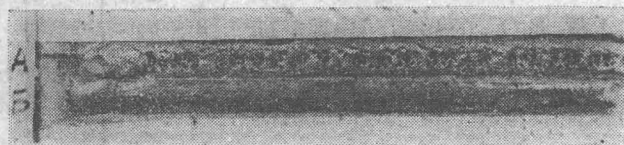
堆積比重：表單位體積中的重量（克/立方公分）以 ρ 表之：

無毒——14 $\rho = 1.58$

熔化點：是使用鉑片通電流，使小粒鋅藥熔化，由熱電偶量得。配方的熔化點在 1210°C ~ 1240°C 間，是適中的。從前面的渣系平衡圖可看出配方 14 鋅藥的熔點在 1800°C 左右，但因此平衡圖尚未考慮 B₂O₃、MnO、Na₂O 的影響，這些成分實際上是起了降低熔點的作用，故比實測的偏高。

[鋅藥的鋲接工藝性能]

鋲縫成型：鋲縫表面成型良好，無壓坑、尺寸變化等現象。鋲縫表面光滑，但紋較粗，這是一般鹼性鋲藥的特點，因為 SiO₂ 含量較低而高矽的矽酸鹽能起表面活性物質的作用，改善表面成型⁽²⁾：



A、用 $\Phi 11$ 1—1 鋅藥（無 CaF₂ 和 MnO）鋲成的
B、配方 14 鋲成的。

圖 4

鋲接時電弧的穩定性：在此系列鋅藥成分中沒有促使電弧不穩的物質如 CaF₂ 等，同時含

有較多的 CaO 和少量 Na_2O ，它們都促使電弧穩定。在實際銲接過程中，電弧是非常穩定的，變壓器無任何忽然的響聲，電流電壓表上的指針幾乎是不擺動的。

經測定，當短路電流 $I_{K3}=120$ 安培時，電弧拉斷時的長度為：

$$\frac{8 \sim 11}{10} \text{ 公厘} \quad \text{仿蘇 AH—348A 銲藥}$$

$$\frac{13 \sim 19}{15} \text{ 公厘} \quad \text{無毒銲藥配方 14}$$

脫渣性：常溫度低後渣能自動脫開，即使用於銲角銲縫亦無掛渣現象。這是由於此種銲藥氧化性小，所以金屬表面的氧化不很激烈，因而金屬與渣不會形成牢固的粘結。

抗銹性：我們曾對無毒配方 14 和我國大連機車車輛制造廠仿蘇 AH—348A 銲藥進行測定，試件長 320 公厘，開有 60° 的槽如圖 5，鋼板為 尤—3 鎮靜鋼板，銲絲為 CB—08。

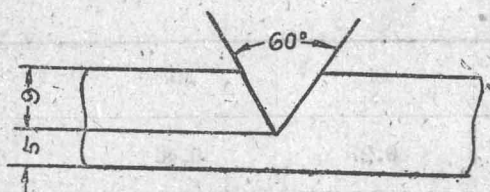


圖 5

在每 100 公厘上分別均勻加 0.1、0.2、0.3、0.4、0.5 克的銹銹。

規範為：銲絲直徑 4 公厘，電流 680 安培，電壓 38 伏特，銲接速度 30 公尺/小時。

無毒-14：當銹銹為 0.1、0.2、0.3、0.4 時銲後無氣孔，且成型並未變壞。當銹銹為 0.5 克時，銲後有單個氣孔出現，且銲縫表面金屬有氧化的痕跡（見圖 6）。

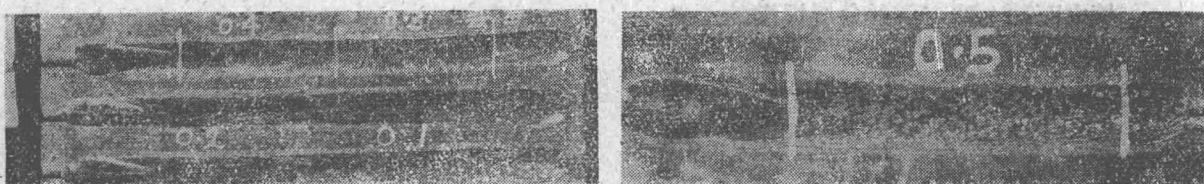


圖 6

仿蘇 AH—348A：當銹銹加到 0.4 克，即有單個氣孔出現（見圖 7）。



圖 7

抗熱裂縫性能：此種銲藥配合低碳鋼銲絲銲接時形成熱裂縫的傾向較高錳高矽銲藥為大。此種性能試驗工作正在進行中。在已有的試驗中，發現在銲沸騰鋼時會出現裂縫。

〔銲縫金屬的化學成分及過渡系數〕

銲縫金屬的化學成分是在開槽銲接的銲縫上，用鑽頭取樣來進行化學分析而得到的其試件如圖 8：

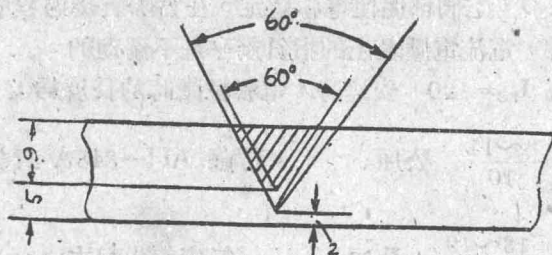


圖 8 (單位：公厘)

銲接規範爲：銲絲直徑 4 公厘，電流 650~700 安培，電壓 35~40 伏特，銲接速度 30 公尺/小時。

銲縫金屬的化學成分如下表：

表 4

	C	Si	Mn	S	P
母 材	0.131	0.27	0.46	0.046	0.022
銲 絲	—	<0.015	0.45	—	0.008
無毒-14	$\frac{0.082 \sim 0.096}{0.09}$	$\frac{0.12 \sim 0.20}{0.15}$	$\frac{0.53 \sim 0.64}{0.57}$	$\frac{0.027 \sim 0.033}{0.029}$	—

現在來看看 Mn、Si、S 的過渡系數，計算時近似地認爲銲縫爲斷面綫所畫之面積（見圖 8）

槽之面積（即需銲絲金屬填滿的）爲：

$$A_1 = \frac{9 \times 7.8}{2} = 35.1 \text{ 平方公厘，}$$

銲縫面積爲：

$$A_2 = \frac{12 \times 10.4}{2} = 62.4 \text{ 平方公厘，}$$

即槽面積佔整個銲縫面積的 56.2%。

過渡系數爲：

$$\mu = \frac{C_{\text{III}}}{mC_c - nC_o},$$

其中： C_{III} ——合金元素在銲縫中之含量；

C_c ——合金元素在銲條絲中之含量；

C_o ——合金元素在基本金屬中之含量；

m ——銲絲金屬在銲縫中所佔分量；

n ——基本金屬在銲縫中所佔分量。

錳之過渡系數：

$$\mu_{Mn} = \frac{0.57}{56.2\% \times 0.45 + 43.8\% \times 0.46} = 1.25;$$

矽之過渡系數：

$$\mu_{Si} = \frac{0.15}{56.2\% \times 0.015 + 43.8\% \times 0.27} = 1.19;$$

硫之過渡系數：

$$\mu_s = \frac{0.029}{56.2\% \times 0.025 + 43.8\% \times 0.046} = 0.845$$

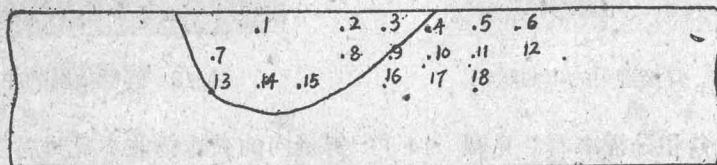
由此可見採用高鹼度鋅藥對滲錳是很有利的，同時能去除硫。

〔鋅縫金屬及鋅接接頭的機械性能〕 試件是根據蘇聯國家標準鋅縫金屬和鋅接頭機械性能試驗法(ГОСТ 6996—54)而取的。

母材：厚度為 14 公厘的碳 尤-3 鎮鋼板。

鋅絲：CB-08

硬度：見圖 9



編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
H _B	116	116	139	121	117	125	123	132	127	123	121	121	119	137	119	101	101	119

圖 9

鋅縫金屬硬度與母材近似。

無毒-14、無毒-21 與母材機械性能比較（見圖 10, 11, 12, 13）：

表 5

	鋅縫金屬屈服 強度 (公斤/公厘 ²)	鋅縫金屬抗拉 強度 (公斤/公厘 ²)	延 伸 率 δ_5 (%)	接頭抗拉強度 (公斤/公厘 ²)	冷彎角度	鋅縫沖擊值 (公斤-公尺/ 公厘 ²)	熱影響區沖擊值 (公斤-公尺/ 公厘 ²)
母 材	28.2	41.4	33%	45.9	180°	$\frac{14 \sim 16.7}{14.9}$	—
無毒-14	33	42.4	29%	46.7	180°	$\frac{14 \sim 16.7}{15.4}$	$\frac{12.5 \sim 14}{13.3}$
無毒-21	32.1	44	28.3%	46.9	180°	$\frac{13 \sim 16}{14.6}$	$\frac{12.5 \sim 13.2}{13}$

鋅縫金屬的沖擊值和延伸率（ $\delta_5\%$ ）認為是滿意的，可見鋅縫金屬中滲硼不多。鋅縫的屈服強度和抗拉強度比母材高，估計是由於滲有少量硼的結果。接頭強度試件大多在母材處拉斷。

我們沒有對鉚縫金屬低溫時的沖擊值進行測定。

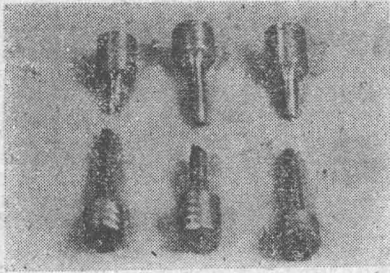


圖 10 鉚縫金屬抗拉試件

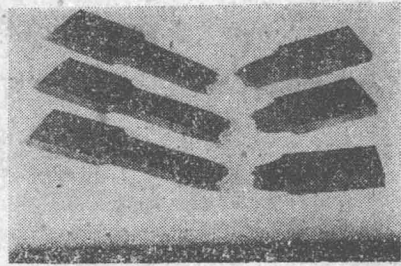


圖 11 鉚接接头抗拉試件

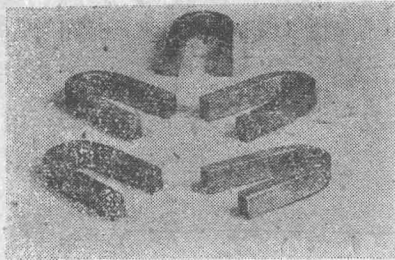


圖 12 鉚接接头的弯曲試件

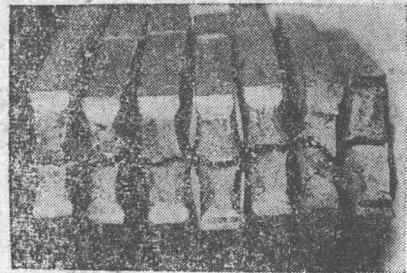
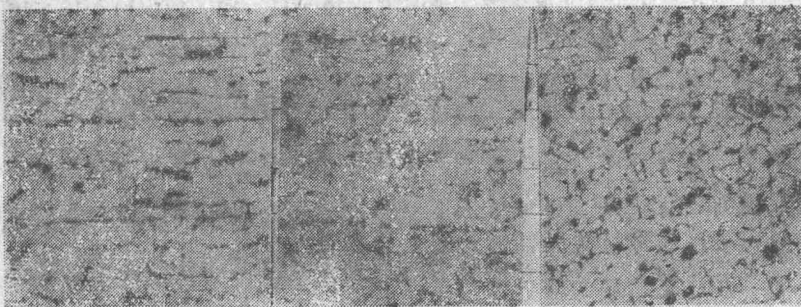


圖 13 鉚縫金屬的冲击試件

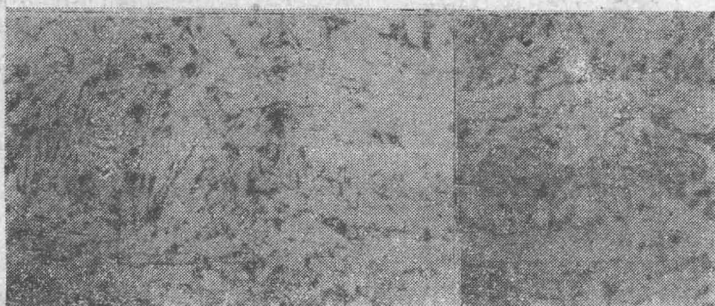
金相組織：從金相分析來看（見圖 14），鉚縫內的夾雜物並不比母材多，鉚縫金屬的純度較好，無顯微裂縫、氣孔等缺陷，因此接头的金相組織也是比較滿意的。



母 材

重結晶区

正火区



熔合区

鉚縫

圖 14