

## 不銹鋼銲接問與答

炫達企業(股)公司◆羅騰玉

Q-93

我們利用304L不銹鋼建造一個供海水應用之厚壁(壁厚厚)壓力容器。我們將它進行12小時在800°C之應力消除熱處理，它是與海水中的應力腐蝕龜裂無關。在熱處理之後，我們發現沿著噴嘴用308L全姿勢用包藥銲線銲接的銲道有許多的龜裂，但是組裝的容器主體用308L潛弧銲接的則沒有發現龜裂情況。然後，我們將該龜裂部分漏除並再用不銹鋼包藥銲線銲接，同時全部檢查過並沒有發現任何的龜裂，之後再進行了應力消除。在第二次應力消除之後，僅在包藥銲線銲接熔填的地方再度發現大範圍的龜裂。我們很擔心是否為應力消除熱處理而發生碳化物析出及產生 $\sigma$ 相。因為銲道及母材均為低碳且無論是潛弧及包藥銲道的肥粒鐵數在應力消除前僅約8-10 FN，我們不認為是碳化物析出或產生 $\sigma$ 相而造成龜裂的問題。這問題似乎是不同的包藥銲線所產生的。請問發生的原因？

A-93

然而在308L的銲接金屬經800°C、12小時的應力消除確實會造成碳化物的析出及產生 $\sigma$ 相，但這肥粒鐵數8-10 FN又是低碳，銲接金屬是會損及機械性質而似乎不致嚴重造成龜裂。我相信你懷疑不同包藥銲線熔填而造成的問題是對的。

它可用簡略的審閱不銹鋼包藥銲線發展的歷史作分析。首先，不銹鋼包藥銲線是在50年代後期被開發的。這類在當時相對是大的線徑(2.4 mm或較大者)，主要是用氟化鈣或氧化鈦(金紅石)渣系為基礎且限於平銲及橫銲。雖然，一些設計為氣遮護，但主要設計為自遮護銲接。這類的自遮護不銹鋼包藥銲線的市場跨越了60年代及70年代。而自遮護不銹鋼包藥銲線，截止目前僅限於平銲及橫銲，主要是金屬的移行(過渡)為大的熔滴，它受到重力非常大的影響。

在70年代後期，小線徑的不銹鋼包藥銲線開始

在市場出現。線徑為1.6 mm，後續接著為更小線徑的。與大的熔滴金屬移行的自遮護銲線不同的是這類銲線幾乎為噴弧移行，特別是氬-CO<sub>2</sub>混合氣之氣遮護。快速凝固的渣系被開發出來以適用於立及仰銲的姿勢。同時在日本，介紹了高氧化矽的渣系，它具有非常引人注意的特性即脫渣性及銲道外觀。當然，日本的發展如1982年在美國申請的專利編號4,345,140不銹鋼銲接複合銲線(Godai et al)的說明。本專利提及了鉛氧化物、鉍氧化物及銻氧化物對銲接的影響。而其他的銲材製造廠商也有介紹與此專利的差異性，同時工業界對額外添加少量鉍的舉動(bismuth-bearing)的化合物以容易脫渣似乎已標準化。在1990年，甚至於稍早一些，在美國使用小線徑的不銹鋼包藥銲線的已超過較大線徑之自遮護包藥銲線。今天，小線徑的氣遮護不銹鋼包藥銲線已經擁有相當之優勢。

而不銹鋼銲接使用最大的量是在銲接原態及約在250°C以下使用的。當然，也會有一些例外，包括鑄件銲補，一般要經過退火，同時在發電與製程工業的銲件則使用於480°C或更高者。這在後者的銲件，鉍(以及其他相似的元素)會造成問題。雖然它較早在日本已有報告，也許就是在西方最早刊載使用於高溫的這類包藥銲線(Welding in the World, Vol.36, pp.103-123 June 1995 by Nishiyama et al)。本論文說明這銲件就是低至650°C也會提早造成潛變破壞。

由西山所提的報告而引起對不銹鋼包藥銲線熔填行為的其他調查，包括鉍。代表IIW的第九委員會(Farrar et al)(鉍對包藥不銹鋼銲件高溫性質的影響Welding in the World, Vol.45, N5/6, pp.25-31, 2001)作綜合性的報告，就如同在不銹鋼包藥銲線熔填鉍量測的一個圓形請願書(round-robin)的結果一樣。他們引用在銲件含約200 ppm的鉍在溫度低至550°C有再熱龜裂的報告，這鉍的水準似乎為這

不銹鋼包藥銲線的標準。他們進一步指出缺乏不銹鋼包藥銲線在溫度低於550°C的經驗及實驗數據。他們也指出某些不銹鋼包藥銲線，其配方不含鉍（低於20 ppm），這樣其熔填不會出現再熱裂或提早造成潛變破壞。很不幸的是這資訊沒被好好的刊載，雖然美國石油協會(API)在其化工、石油及氣體工業的銲接指引中建議施工要領582已納入對不銹鋼包藥銲線鉍的限制，在20 ppm以下。

你的經驗似乎已完全清楚再熱裂的情況。我瞭解後續的調查已經確定選用包藥銲線不能添加鉍的成分。

所以對於不銹鋼銲件設計作高溫的使用或想要作既有之應力消除熱處理，應選用熔填的鉍低於20 ppm之包藥銲線。因為銲材的製造廠商在其銲線一般不刊載鉍的含量水準，所以建議你應與未來的不銹鋼包藥銲線製造廠商的技術代表接洽，使其瞭解選用的銲線是要作高溫或作應力消除之用。你應找尋一銲線的供應商能保證提供銲接金屬的鉍含量低於20 ppm(同時，一樣的不含會造成再熱裂或提早造成潛變破壞之任何其他的元素)。

這對於不使用於高溫或進行應力消除熱處理的不銹鋼包藥銲線，並無任何理由對其作強迫性的限制(即鉍的含量)。

#### Q-94

我們了解工作人員在銲接煙塵中六價的鉻之暴露極限已大大的被降低(即趨於嚴謹)。你能提供任何的建議來協助我們的工廠達到符合新的極限呢？

#### A-94

不銹鋼的銲接不僅僅是受到銲接允許暴露的極限值(permissible exposure limit, PEL)降低的影響。大部分的鎳基合金包括鉻，如大部分作為硬面堆銲合金，以及許多的低合金鋼。所有這類材料的銲接都受到降低PEL的影響。

事實上，新的極限並非都是新的規定。OSHA出版這PEL於聯邦註冊是在2006年的2月28日。它是從先前的極限值為0.05 mg/m<sup>3</sup>降至目前的0.005 mg/m<sup>3</sup>。

這改變會影響的是從2006年5月20日開始，它

是針對顧用20人或超過20人以上顧主之規定。對於顧主，它容許在六個月之內達到符合大部分的規定，同時在有效期間的四年之內建立可行的工程管制。所以你還有兩年多的時間可以來完成工程管制的建立。這是很好的開始。

我建議你們現在，首先要藉製造煙塵暴露量測來評估你們目前的狀況。你們應尋求OSHA人員能夠及願意協助。如果你們發現目前暴露的途徑或超過六價鉻之極限，或者任何其他煙塵的極限，那麼你們回過頭來增加通風、局部排氣、排煙銲槍及/或改變銲接方法以降低暴露。你們可以從ANSI Z49.1(銲接、切割及相關製程之安全)及AWS F3.2M/F3.2(銲接煙塵通風指南)獲得有關通風、局部排氣及排煙銲槍選擇性的資訊。

在你們認為甚麼改變都合適之後，你們應該再量測一次煙塵的暴露以確認是否符合。若所有之改變都不符合失敗時，那麼你們須回過頭來提供工作人員供氣的防毒面具(慮毒罐式面罩)。

有些非常重要的事情就是你們可以作銲接製程範圍的改變，該改變在六價鉻的暴露能有戲劇性的效果。本專欄剩下來的是提出這類的選擇性。

鉻一般存在著三種氧化狀態(氧離子)-二價(Cr<sup>++</sup>)、三價(Cr<sup>+++</sup>)及六價(Cr<sup>+++++</sup>)。僅僅六價的形式可能致癌，並規類在本法規作限制。二價及三價化合物的PELs限制在0.5 mg/m<sup>3</sup>以下，對於六價鉻新的PEL要高出100倍之多。

某些元素會強力的促進六價鉻之形成非二價或三價。在銲接時，六價鉻最重要之促進劑為鈉及鉀。這類的元素一般可在不銹鋼銲接之銲渣中發現，因為它有優異的穩弧作用。它也被用作黏著劑以固著被覆銲條之被覆塗料(coating)。它與鉻反應生成煙塵中之鈉及鉀鉻酸鹽，它就是在不銹鋼銲接煙塵中發現最重要的六價鉻化合物。

一個有趣的事就是在板上以不銹鋼銲條熔填一個銲道，並將濃縮之煙塵導引到母材上面直到冷卻，然後在光亮燈光下扔入乾淨的水裏。在六價鉻化合物被稀釋到一容積的水之前，你應該可以看得到的黃色的閃光，六價鉻是有溶解於水的特性。

在二十年前，我(筆者DAMIAN J. KOTECKI)

曾在Teledyne McKay指導研究時，發現不銹鋼鐸條及包藥鐸線鐸接的煙塵中六價的鉻約為煙塵總量的5%。那時以來，我就懷疑這類產品已徹底的改變。若煙塵總量含5%六價的鉻且六價鉻之PEL為0.005 mg/m<sup>3</sup>，對於六價鉻在PEL之下殘留之煙塵總量之極限值為0.005/0.05=0.1 mg/m<sup>3</sup>(即六價鉻煙塵佔5%，為0.1\*0.05=0.005 mg/m<sup>3</sup>)。這對於其他煙塵之限制是極嚴格的。

在工程管制改變鐸接方法能有效的降低鐸接煙塵六價鉻之擴散。從手鐸條(SMAW)或包藥鐸線(FCAW)改用潛弧鐸對降低六價的鉻會有很大的衝擊，同時也降低所有煙塵量的產生。當然，潛弧僅適用於平鐸且厚度至少5 mm，但是多數之不銹鋼板更薄且經常不限於平鐸。值得注意的是大部分的潛弧鐸藥含有鈉及/或鉀化合物，所以從覆蓋鐸藥逸出的煙塵仍含較高的六價鉻-從手鐸或包藥鐸線改變為潛弧鐸僅僅逸出煙塵的量降低而已。

另一個取代之方式為從手鐸或包藥鐸線鐸接有鐸藥改成無藥而實質上從電弧環境去除了鈉及鉀，徹底降低了煙塵中鉻化合物的形成。無藥製程包括了GMAW、GTAW、PAW、LBW及EBW。也許最容易使用的工具且不損失生產力或不致於買昂貴的設備就是GMAW鐸接。依照經驗，GMAW鐸接產生之煙塵量為SMAW或FCAW鐸接之半或更少，而在煙塵中六價鉻的含量，其整體百分比一般亦低於SMAW或FCAW的量。其意也不是說用GMAW鐸接，在煙塵中就不會發現任何之六價鉻。你仍須量測以確認六價的鉻符合新的OSHA PEL規定，而其他OSHA PELs規定也一樣，包括錳。

所以要朝向達到符合OSHA之重要的步驟，就是從手鐸或包藥鐸線改變成潛弧鐸或者不含鐸藥的鐸接方法，例如GMAW，作為不銹鋼及其他含鉻材料的製造。

### Q-95

我們嘗試製造數量很多之AL6XN容器(1/2吋【12.5 mm】壁厚)，使用1/16吋【1.6 mm】線徑之625合金鐸材，以潛弧鐸施工。這是推薦的鐸材，但我們經常會遭遇失敗也就是在打底鐸道中央發

生龜裂。當缺陷發生時，我們必須用漏溝方式劇修後選匹配之手鐸條鐸補。這浪費許多時間與金錢。而採用手鐸從未再發生龜裂且能完成潛弧鐸的接頭。因此鐸接人員建議乾脆使用手鐸條來作打底鐸再以潛弧鐸蓋面。這全面以手鐸條作打底鐸變成很貴。請問怎樣才能成功的以潛弧鐸打底呢？

### A-95

AL6N為超級不銹鋼的品名，其化學成分可從UNS編號N08367查得到。Alloy 625為一個普通的名稱，而使用的鐸材在AWS5.14的規格為ERNiCrMo-3或ISO 182745之Ni 6625。表1所示為母材(摘自ASTM A240)及鐸材的化學成分範圍。可以注意到在N08367鐵為最多的元素(約48 %的鐵對25 %的鎳)，但在UNS編號系統則指定合金為一種鎳基合金的命名(為“N”字首)。在世界上多數的法規(包括

ASTM A240)均視N08367為一種不銹鋼。選用之鐸材還有在表1鐸材化學成分範圍常用之Alloy 22，AWS A5.14規格為ERNiCrMo-10或ISO 18274規格為Ni 6022及Alloy 276，AWS A5.14規格為ERNiCrMo-4或ISO規格為Ni 6276，其選用的理由容後會清楚的說明。你們選用ERNiCrMo-3來鐸AL6XN超級不銹鋼是一種傳統的思維。為著能獲得匹配耐點蝕之鐸接金屬，一般需要比母材高配鉑含量之鎳基合金鐸材。而ERNiCrMo-3鐸材幾乎確定為成本最低及最容易取得符合要求之鐸材。

鐸道中央龜裂可以在打底鐸道看到為凝固龜裂。這是當液態膜殘留在鐸接金屬超過一很大的範圍(即液態至凝固的溫度範圍很大)，然而當冷卻時鐸道進行收縮就會發生龜裂。我相信你們心中的問題可以被彙整成兩個字-“稀釋”及“銜”的問題。

因此，可以有一很好的規則來預測耐凝固龜裂就是無銜及很多銜都很好，但是，一旦在中間的水準則很危險。一般各種鐸接方法的稀釋率都可以查得到。以手鐸條鐸接大多數的情況限制在30-35 %的稀釋率，所以以ENiCrMo-3手鐸條鐸接AL6XN母材可以得到超過2 %的銜，它將能耐凝固龜裂的。當然，以潛弧鐸稀釋率經常達到40-50 %或甚至超過。若稀釋率為50 %，則打底鐸道之銜含量

會降至1.5%，這對於凝固龜裂是很危險的。這並不是6%鉬超級不銹鋼銲接唯一的問題，它也同時存在於9%鎳鋼LNG儲槽用ERNiCrMo-3銲材以潛弧銲打底會發生凝固龜裂的趨勢。

你們可以採取限制打底銲道稀釋的步驟。銲接底道用負電極(DCEN)取代正電極(DCEP)，這是限制稀釋率很好的方式，雖然經常銲出凸的銲道形狀且有時會不滿意。以較長的銲線伸出長度銲接能降低稀釋率，但也會產生銲線對的位置偏移(無法瞄準位置)的問題。降低銲接電流(降低送線速度)也能降低稀釋率，但同時也降低了生產率。

也許比較好的解決方法是更換另一種符合高配鉬要求且不含鈮的銲材。而最常的是選用Alloy 22，AWS A5.14規格為ERNiCrMo-10或ISO 18274規格為Ni 6022。這銲材之化學成分如表1所示且不含鈮。因此，它在潛弧銲能容許較大範圍稀釋的可能性，因而使凝固龜裂之風險降至最低。我假想你們潛弧銲使用高鹼性的銲藥，這也是唯一匹配ERNiCrMo-3銲材施銲良好之銲藥型式。若是如此，這相同的銲藥也一匹配ERNiCrMo-10銲材能施銲得很好-事實上在銲材不含鈮，相對於你們使用ERNiCoMo-3銲材也有容易除渣的好處。

Alloy 276(AWS A5.14規格為ERNiCrMo-4或ISO 18274規格為Ni 6276)也是可能選用的銲材。它也是不含鈮。它的銲接特性與Alloy 22非常相似。你們可以在這兩種銲材間作選擇，但需依成本及效益為基礎作為決定不含鈮選用之途徑。