

化学機械の熔接と問題点

大阪大学工学部 渡 辺 正 紀

化学反応の工業化にあたり、その化学機械の重要なことはいふ迄もない、現在化学工場において化学技術者は反応装置、単位操作装置の工程設計やプロセス制御に当り、装置の構造材料の選定、機械的強度、液の分散、架台などの機械的設計は技術者が担当し、化学技術者はその協力者の立場がとられている場合が多い。

化学機械の分野においても、他の工業用構造物と同様に熔接の占める分野は甚だ多く、その特性上使用条件がかなり厳しいと共に、使用目的も混合粉碎、攪拌、濾過などの純然たる機械特性に基くもの、蒸溜、ガス吸収、抽出などいわゆる物質の移動過程に基くものなどその範囲は広い、使用材料も各種材料にわたり、それぞれに適応した熔接技術が要求せられる。

熔接構造で屢々問題となるのは、熔接継手の拘束性による残留応力と熔接熱のための材質の改変である。軟調構造においても材料の靱性の不足しているものでは残留応力であり、低温脆性の大きな要因をなす場合がある。化学機器に用いられる材料は使用目的からいつて当然耐蝕性が要求される場合が多くステンレス鋼とかその他特殊な材料が用いられる。これらの特殊鋼や、ステンレスの熔接には、技術的にも、又材料の性質自体にも種々な問題があつて特別の注意が必要である。たとえばステンレスには低温脆化の懸念はないが、応力のため応力腐蝕が起り得る危険性を有し、熔接による残留応力は充分にこの腐蝕を起させるに足るものであるし、熔接熱の影響によつて炭化物の析出が促進されたりするが如きである。

事実このような原因による事故例は屢々見聞する所であり、これらに対する詳細な解決策は目下研究中であり、根本的な解決は得られてはいない。

化学機器の熔接についての問題は、上にのべたように耐蝕性と強さが要求され、特に低温とか高温において使用される場合も屢々あるのであるから、

① 耐蝕材料の熔接。

② 低温材料、高温材料（耐熱耐蝕）の接溶。
などをとり上げることが出来る。

これらについて以下簡単にのべてみよう。

1. 耐蝕材料としてのステンレス鋼

耐蝕材料といへばステンレスというほど耐蝕材料にお

けるステンレス鋼の用途は広い。Crの含量が高いと不動態するので12%以上のCrを含み、機械的強度改善のためNiを多く合金してある。オーステナイト系、フェライト系、マルテンサイト系の三つが主な分類法であつてそれぞれ用途によつて目的に応じて使用される。

オーステナイト系ステンレス鋼とその熔接については、フェライトの変態析出、クロム炭化物の析出シグマ相の生成などが、材料の脆化、耐蝕性劣化の主原因をなすものであり、残留応力については応力腐蝕亀裂が起る危険性を有する。実際問題として大型の化学機器構造物をステンレスで構造したとき1100°C加熱急冷の溶体化処理が施し難い場合が多い。しかも熔接のための残留応力はそのための亀裂さえしばしば発生させることが多く、冷却条件によつては熔接部、熱影響部に炭化物の析出が甚しい場合がある。応力除去焼化も炭化物の析出を促進し、粒間腐蝕を起す大きい原因となる。従つて、場合によつては応力を除き、しかも炭化物を生成せぬような熱処理を要求される識であつて、現在870°C以上の温度に加熱し急冷するのがよいとされている。しかしこのような処理を実際の製品とくに大型構造物の場合には甚だ困難であり、現状としては構造物の各部品に、発注者の特別な要求によつて行つてに止まり、熔接技術の問題を離れて、熱処理技術の発展（経済的な設備の構造法を含めて）を期待する所である。

フェライト系、マルテン系などについても類似した困難が挙げ得る。上記の外に、シグマ相の生成による脆化477°Cで長時間加熱した場合の475°C脆性、過熱組織、など何れも熱の影響による機械的性質の劣化である。対策ばかりでなく、根本的な研究が望まれる所である。

ステンレスの熔接は被覆アーク熔接、TIG、MIG熔接、不活性ガス熔接、潜弧熔接などによつて行われる。

熔接については、軟鋼に比し熔込みが浅くまた熔着金属の表面張力が大きいので、必ず開先をとること、とくに第1層の熔込みが容易なようにしなければならない。

熔接棒は必ず同一系統材料を芯線に用いた棒を選び、特に乾燥と取扱いに注意しなければならない。熔接後の処理は、応力除去を行うべきであるが、カーバイドの析出を起さない工夫が必要であつて、一般には870°C~900°Cで焼鈍急冷すべきである。又300°C位で行う低温応力除去法も屢々採用されている。

またフェライト系、アルテン系、ステンレスは焼入自硬性を有するために予熱、後熱の必要性を特に示されている。

2. 低温用材料*

化学工業は低温で行はれる場合が多いので、構造物に対しては低温における強さが厳に要求される。たとえば、液化のプロパンの製造と貯蔵、運搬用の機器、P. L. G. 船など、石油精製過程における脱硫、天然ガスの液化工業など、少くも -40°C から -200°C またはそれ以下までの低い温度において操業されることが少なくない。このような場合、突然多気温度との差異による熱応力とそのための変形、に対する考慮はなされねばならないが低温脆化により衝撃値の下落、異種金属間の溶接部における膨脹収縮の差、などは大きい問題である。低温材料としてのステンレス鋼はその名の示すように面心立方晶形金属であつて低温材料として優れたものであるが、経済的に常にステンレス構造物が成立するとは限らない。このため、使用温度範囲を考慮した上でアルミキルド鋼 2.5%, Ni 鋼, 3.5% Ni 鋼などが広く用いられている。

アルミキルド鋼は一般に $-45^{\circ}\text{C} \sim 0 \sim 50^{\circ}\text{C}$ 位までの低温における機器の材料に用いられる。キルド鋼であるが、添加アルミニウム量をやや増すことによつて結晶の微細化、窒素の安定化を行わしめたものであり、C 量は 0.1% Mn 0.8% 前後の成分である。靱性も高く、抗張力も大きい。

溶接棒は、低水素型溶接棒が適当と思われるがやや熱影響部の硬化性が大きいようであり、また予熱によつて良好な結果が得られているようである。

高ニッケル鋼についていえば、

フェライト鋼に Ni を添加すると遷移温度が低下する。一般に 2.5% ニッケルとか 3.5% ニッケル、が用いられる。その他の主成分は C 0.17% ~ 0.2% Mn 0.8% 前後であり、ニッケルは、2.2% から約 4% のものである。

-100°C 位までの材料として用いることが出来る。抗張力は $50 \sim 60 \text{ kg/mm}^2$ を有している。

*(註) 低温用鋼板として A S T M 規格は一応我々の参考になるであろう。

A300(一般規程), A201(C-Si 鋼板, 中抗張力鋼 $-50^{\circ}\text{F} (-45.6^{\circ}\text{C})$)

A212(C-Si 鋼板 $\frac{1}{3}$ 抗張力鋼, -50°F), A208 Ni 鋼板(A, B 種 -75°F , -59.4°C , D, E 種 $-150^{\circ}\text{F} (-101^{\circ}\text{C})$), A353(低C高 Ni 鋼 -320°F , -195.6°C)

A410(Cr-Cu-Ni-Al 鋼板, -150°F , -101.1°C)

Al キルドもさうであるが、焼入れ焼戻しによつて調質したものが良好な機械的性質を示す。* 溶接棒も当然資材と同様の機械的性質を示すものを用いるべきである。溶接後もし応力焼鈍を行うとすれば、その冷却は急冷でなくてはならない。3.5% Ni 鋼も焼入自硬性を有する。

*最近蓄者の提唱により -100°C 前後までの Al-killed 鋼の試作研究が行われている。

3. 高温材料

低温における性質の向上は主に機械的性質の改善、特に衝撃値にその要求があるが、高温においては凡ての物が活性化するため、機械的性質とくにクリープ疲労強度に対する要求が大きく、さらに黒鉛化等のような組織の変化のないこと、耐酸性、腐蝕性の良好なことが必要とせられる。これらの材料としてはクローム・モリブデン系、25クロム系、クローム・ニッケルコバルト系、その他のクローム・ニッケル系の諸合金が用いられる。コバルト系、その他のクローム・ニッケル系の諸合金が用いられる。

普通鋼では Si 脆酸鋼は黒鉛化の傾向は少くアルミ脱酸鋼にその傾向が大きい特に溶接部、熱影響部は黒鉛化し易い、クロームを合金すると耐蝕性、耐酸化性が増す。

クローム・モリブデン鋼は被覆アーク棒によつて溶接することが多い。この鋼種は硬化性大でビード下亀裂が起り易いから、低水素系の棒を用いた予熱後熱が必要である。其温度は低クロムの場合 $100 \sim 300^{\circ}\text{C}$ にとることが多く、高クロムの場合 $200^{\circ}\text{C} \sim 400^{\circ}\text{C}$ 位が良好であるようである。後熱処理は応力除去と、溶接部の焼鈍による柔化を目的とするので低クロムのクローム・モリブデン鋼で $650^{\circ}\text{C} \sim 750^{\circ}\text{C} 1 \sim 3 \text{ hrs}/25 \text{ mm}$ 高クロムの場合は $750^{\circ}\text{C} \sim 800^{\circ}\text{C} 2 \sim 3 \text{ hrs}/25 \text{ mm}$ 、が必要であるとされている。勿論低冷高温用材として不銹鋼が使用せられておりこれらの材料並に溶接部のクリープ特性に関する資料を豊富に超えることは設計資料として特に必要であろう。

4. 高張力鋼

高温低温を不問、優れた強度を有する高張力鋼が用いられる。降伏点 31 kg/mm^2 以上、抗張力 49 kg/mm^2 以上のものを高張力鋼と呼ぶが、抗張力が高く、重量が軽く出来る。切欠靱性が良好であること、耐蝕性の大きいこと加工性もあることが要求されており、特に構造部材として溶接性が重視されている。最近 60 kg/mm^2 は勿論 $70 \sim 80 \text{ kg/mm}^2$ の抗張力鋼が生産されんとしているが、合金元素の添加量の増大に伴つて溶接性切欠靱性等に問題が多くなつてくるのである。

これらの特殊鋼は何れも焼入れ、焼戻しによる調質が

生産と技術

行われておるが硬化性が大であること等の理由から、熔接の技術もその調質された条件に則し、所期の性能の劣化を来さぬよう改在研究が続けられている。

以上化学機器用材料とその熔接についての諸問題の二、三について概観して来たのであるが、全般的に見ると、

化学機器が普通の構造物と異なる点は、

使用条件が苛酷であり、しかも使用上の条件的要求が互に相反したものであることが多いという点である。

使用材料は調質材料が多いので熔接に際しての問題も多く、熔接熱や残留応力の問題、作業方法また腐蝕に対する対策法などについて尚研究すべきことが少なくないのであつて、抜本的な解決が望まれるのである。当面のことは、万難を排してとるべき処理を施行すべきことである。しかもこれらの問題点を如何にして処理すべきかという点について深い検討がなされるならば高度の安全性をもつ化学工業の操業が期待出来るのである。