

爆発拡張法について

西尾 安弘・大前 堯・吉田 康之*

1. まえがき

近年化学工業の高温高圧化にともない熱交換器に厚肉小径管が使用されることが多くなつて来た。これらの伝熱管は一般にはチューブローラで拡張して管板に結合され、高圧の液体またはガスに対する気密性はいわゆる漏れ止め溶接により保たされている。しかしながら、チューブローラで4mmをこえる厚肉管を拡張する場合には、多量の拡張油を用いなくては管内面の肌荒れや拡張機の焼付きを生ずる。また多量の拡張油を用いると管と管板の隙間に拡張油が侵入し、漏れ止め溶接の場合に、これが原因となつて溶接欠陥を生じ、気密性の確保が困難となる。これらの欠点を除くため種々の工作法が研究され、それぞれの成果をあげているが、基本的には拡張油を要さない拡張法を用いることが最良である。このような観点から筆者らは爆発成形法を拡張に応用することを考え、各種の実験を行なつて爆発拡張法を確立し、実製品にも応用したので、それらの概要を報告する。

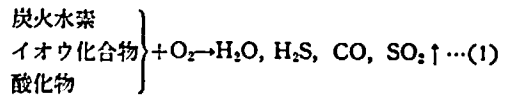
2. 爆発拡張法

2.1 従来法の欠点

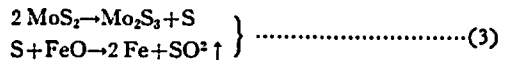
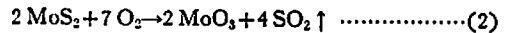
周知のように、従来のチューブローラ拡張法はテーパの付いたマンドレル周辺にローラがあり、このマンドレルを回転させて押しこむことにより、ローラを介して管を押し上げ、管と管板を結合させる方法である。この方法で4mmをこえる厚肉小径管を拡張する場合には、管内面の肌荒れや焼付きが起るので、これを防止するために潤滑剤を強制的に潤滑させて拡張する必要がある。潤滑剤としては表1に示す拡張油またはモ

リコートが一般に用いられ、このような条件のもとで拡張する場合、管と管板の隙間にこれらの潤滑剤がたまる。かかる状態のもとで漏れ止め溶接を行なうと潤滑剤に起因した多数のブローホールを発生し、健全な溶接は不可能なことを実験的に確認しているが、その原因は次のように考えている。

(1) 拡張油の場合



(2) モリコートの場合



管と管板の細隙に潤滑剤が存在する場合、この除去が不可能なため、溶接に際しては上述のブローホールを多数発生し、耐気密性の確保が困難である。したがつて、従来法の厚肉管への適用は好ましくないと云えよう。

2.2 爆発拡張法

爆発拡張は図1に示すように管の中心部に棒状爆薬

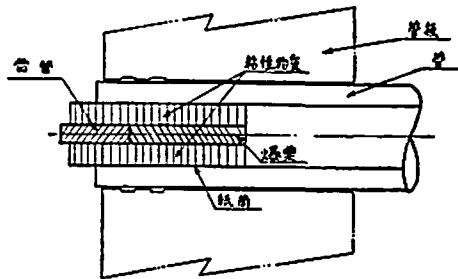


図1 爆発拡張法

を挿入し、頂部に起爆薬を装填して、起爆、爆発を行ない、この際に発生する爆圧を利用して瞬時に拡張を行なう方法である。爆薬周囲の粘性物質は爆圧を有効に伝導させ、かつ爆発時の起爆薬片の衝突による管の損傷を防止するために用いる。拡張作業は図2の配置結線のもとで、多数の管を同時に迅速に行ない得る特徴を有し、かつ完全な遠隔操作であるので安全上の危険は全くない。また前述のように拡張油を使用しない

表1 潤滑剤組成

種別	化学成分 (%)			
	C	H	S	O.N
拡張油	58.33	10.76	4.07	残
モリコート	MoS ₂ + Na ₂ SiO ₃ + H ₂ O (1 : 3 : 6)			

昭和42年11月15日受理

* 三菱重工業(株) 技術本部 広島研究所 広島市観音新町4丁目9番2号

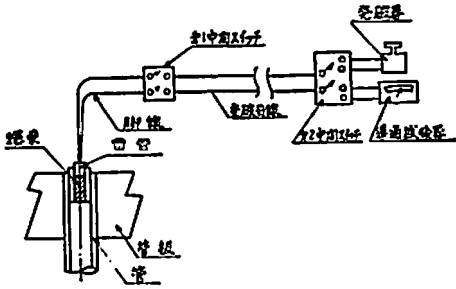


図2 爆発拡管配置図

ので漏れ止め溶接時にブローホール発生の際念がないのは無論のことである。

3. 拡管部の性質

拡管部の性能として、特に問題となるのは固着力と耐圧性であるので、これらに関する主要な実験結果を記述する。

3.1 固着力

管と管板の固着力に影響する主要な因子としては、次のものがあげられる。

- (1) 爆薬量
- (2) 拡管長
- (3) 拡管溝数
- (4) 管と管板のクリアランス

これら諸因子の影響を調べた結果を図3, 4, 5に示す。なほ固着力の測定は管板を支えアムスラー試験機で管を押し下げる抜板法により行なった。爆薬量と固着力の関係を図3に示すが、各種の管と管板の組合せ

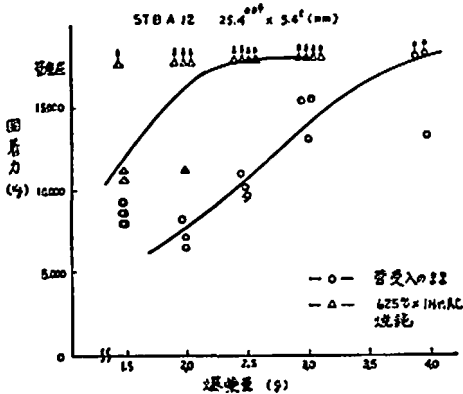


図3 固着力と爆薬量の関係

に対する適正爆薬量の算定式を確立しておく必要がある。筆者らは Kirk-Bethe の水中爆発時に生ずるエネルギー密度式と実験結果をもとに次式を導き出し、広く応用出来るようにした。

$$W = K\sigma_0 D t l \left(\frac{kt}{100} + C \right) \quad (1)$$

ただし

- W : 適正爆薬量 $\sigma_0 = \frac{1}{2}(\sigma_B + \sigma_V)$ σ_B : 引張強度
- σ_V : 降伏強度 D : 伝熱管内径 t : 管肉厚
- l : 拡管長 C : 管と管板のクリアランス
- k : 適正な拡管の場合の肉厚減少率
- K : 管の材質、肉厚、内径により決る実験常数、

爆発拡管の場合、拡管長は任意に施行し得るが図4よ

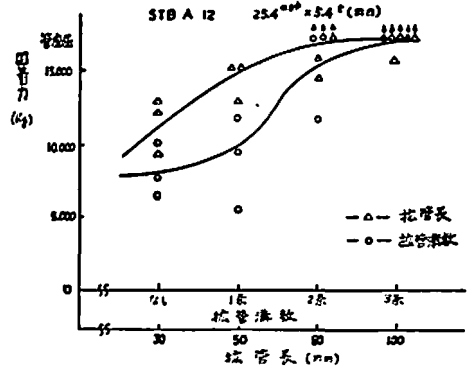


図4 固着力におよぼす拡管長と拡管溝数の影響

り 50mm で十分であり、かつ拡管溝の設置で固着力が増加するが、2条で飽和することがわかる。図5

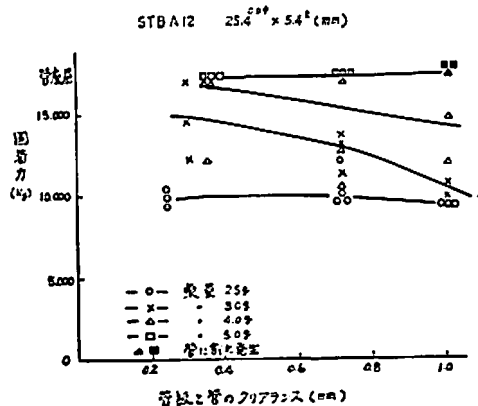


図5 固着力とクリアランスの関係

は管と管板のクリアランスの影響を示すが、クリアランスの増加とともに固着力が低下し、過大の場合には過拡管となり、管に割れを発生することがある。これらの結果により高圧下で使用する厚肉小径管に対しては、爆薬量は(1)式より算出し、拡管長 50mm 以上、拡管溝数 2 条以上、クリアランス 0.3mm が適正と首えよう。

3.2 固着力に及ぼす加熱温度の影響

図6は加熱温度が拡管部の固着力に及ぼす影響を示す。拡管溝なしの場合、加熱温度の上昇とともに固着

57B A 24 25.4^{±0.05} × 4.6^{±0.05} (mm)

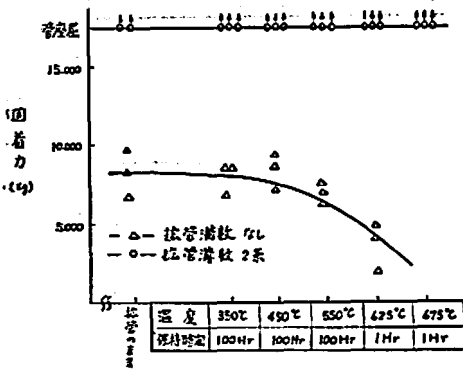
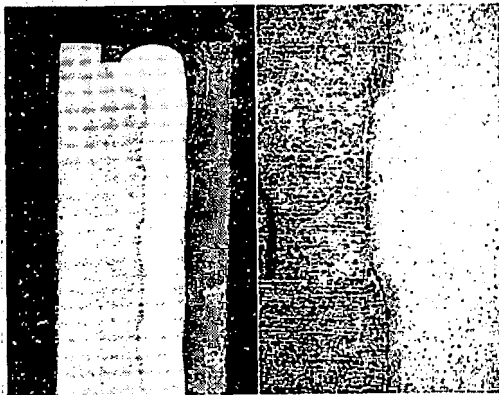


図 6 固着力におよぼす温度の影響

力の低下が著しくなるが、拡張溝を設けることにより低下のないことがわかる。前者の固着力低下の原因は高温加熱によつて拡張部に応力弛緩が起り、接触面圧が低下したためであろう。後者の爆発拡張部は写真1



拡張部断面 拡張溝部マクロ組織
写真1 爆発拡張部の詳細

に示すように、管外壁が拡張溝部に十分食いこみ、良く密着しているので、高温加熱により面圧力、すなわち管板による締付力がなくなつても拡張溝部への管の食いこみ部の機械的固着力が大きいので、低下がないと考えられる。したがつて爆発拡張管を用いれば、長時間の高温使用の場合には、漏れ止め溶接部へ荷重が加わることがないので、信頼性が高いと言えよう。

3.3 耐圧性

耐圧性には特に管穴の仕上げ精度が影響するので、適正な条件で爆発拡張を行なつた後に、図7に示す装置を用い、その影響を調査した。表2の試験結果から明らかなように、ばらつきはあるが、管穴の仕上げ精度を上げることにより耐圧性は向上する。しかしながら、▽▽▽の場合でも耐気密は 20kg/cm²、耐水圧は

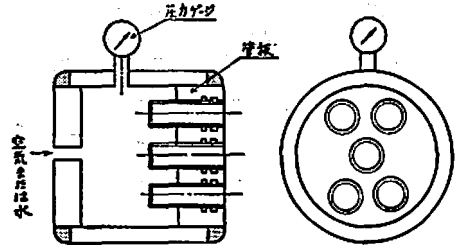


図 7 耐圧試験要領

表 2 耐圧試験結果

種別	管穴仕上げ精度	管径	気密試験圧 (kg/cm ²)			水圧試験圧力 (kg/cm ²)					
			5	20	50	20	50	100	200	370	
爆発拡張管	▽	1	○	×	×	○	○	×	×	×	×
		2	○	×	×	○	×	×	×	×	×
		3	○	×	×	○	×	×	×	×	×
		4	○	×	×	○	×	×	×	×	×
		5	○	×	×	○	×	×	×	×	×
	▽▽	6	○	○	×	○	○	×	×	×	×
		7	○	×	×	○	○	×	×	×	×
		8	○	×	×	○	○	×	×	×	×
		9	○	×	×	○	○	×	×	×	×
		10	○	×	×	○	○	×	×	×	×
	▽▽▽	11	○	○	×	○	○	○	×	×	×
		12	○	○	×	○	○	○	×	×	×
		13	○	○	×	○	○	○	×	×	×
		14	○	○	×	○	○	○	×	×	×
		15	○	○	×	○	○	○	×	×	×
爆発拡張管 ↓ 漏れ止の溶接	16	-	-	○	○	○	○	○	○	○	
	17	-	-	○	○	○	○	○	○	○	
	18	-	-	○	○	○	○	○	○	○	
	19	-	-	○	○	○	○	○	○	○	
	20	-	-	○	○	○	○	○	○	○	

100kg/cm² である。拡張後、漏れ止め溶接を併用したものは、370kg/cm² 1時間保持の水圧試験に対して全ての伝熱管とも漏洩はなく健全である。これらの結果より、爆発拡張管を採用すれば、漏れ止の溶接を省略出来るとの説も一部にはあるが、拡張と漏れ止め溶接を併用することが必要である。

4. 実製品への応用例

諸実験の結果より十分実用化し得る確信を得たので、数年前より厚肉小径伝熱管を使用した熱交換器に本法を適用し始め、既に多数の納入実績を有している。爆発拡張と漏れ止め溶接を併用した熱交換器の使用実績に関する一例をあげれば、使用条件 350℃、300 kg/cm² で約6ヶ月の使用により漏洩事故を生じたものの改造工事に適用し、何らの事故もなく2年以上の使用に耐え現在に至つており、その性能の優秀なことを立証している。写真2は爆発拡張前の状況、写真3は起爆の瞬間を示したものである。なお経済性については、4 mm をこえる厚肉管の試算の一例を図8にあげ、参考に供するが、30~40%のコスト低減とな



写真 2 爆発拡管準備状況

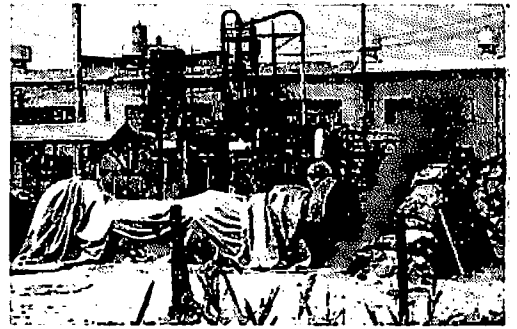
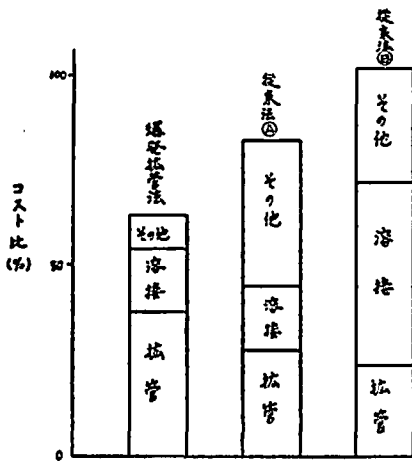


写真 3 起爆の全景



〔製作方法〕

爆発拡管法 厚肉小径管→ 漏れ止め溶接
 従来法② 拡管後拡管→ 溶接
 従来法③ 拡管後拡管→ 溶接→ 拡管後拡管→ 溶接

図 8 コスト比較

る。しかしながら、爆発拡管法が経済的であるのは、4 mmをこえる厚肉小径管の場合であつて、全ての場合に有利と言うのではない。そのほか爆発拡管を実用化する上での重要な注意事項として管の検査がある。

5. むすび

熱交換器の厚肉管と管板の接合法として、爆発拡管

と漏れ止め溶接併用の工作法を確立し、その特徴、実験結果ならびに使用例の概要について記述したが、それを取纏めると次の通りである。

- (1) 適正な爆薬量の算定式を導き出し、爆発拡管法を確立した。
- (2) 爆発拡管法は固着力が大きく、かつ潤滑剤を使用しないので漏れ止め溶接時のブローホールの発生がなく、特に高温高圧熱交換器の長期使用に対して信頼性が高い。
- (3) 厚肉小径管に対して拡管作業が簡単に安全に施行でき、かつ経済的である。
- (4) 爆発拡管と漏れ止め溶接を併用した熱交換器の使用実績は非常に優秀である。

文 献

- 1) R. H. Cole, Underwater Explosion, Princeton University Press.
- 2) 西尾, 厚肉伝熱管への爆発拡管の応用, 石油学会腐食管理パネル討議記録集, 1966
- 3) 岩崎, 大前他, 爆薬による鋼管拡管法の研究, 三菱重工技報, Vol. 3, No. 1, p. 58~63, 1966
- 4) 大前, 吉田他, 管と管板の接合法の研究, 社内研究報告, 1966
- 5) 加藤, 大前他, 管と管板の溶接の研究, 社内研究報告, 1965

Tube Expanding by Explosives

by Y. Nishio, T. Ohmae and Y. Yoshida

Explosive forming which is one of high rate energy forming methods has entered into a stage of practical application. We have developed explosive expanding method of tubes to tube sheets for heat exchanger, and investigated the holding strength and tightness of them experimentally.

As a result of the experiment, it has been made clear that its performance is excellent, it is useful for preventing porosity made at the time of seal welding and further more, it contributes to the reduction of manufactured cost. So many heat exchangers have been manufactured applying explosive expanding for these several years, and have proved excellent performance.

(Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. Hiroshima Technical Institute,
Technical Headquarters)

ニ ュ ー ス

ノーベルの管理者は火薬業界に大きい変化があると予言

ICI のノーベル事業部の重役、J. Bell 博士は、最近の保安会議の席で、火薬業界には過去に見られなかつたような大きい変化が、ここ1~2年の間におこるであろうとして、次のように語っている。

最近訪問したスカンジナビアやヨーロッパ諸国では火薬産業は大きくしかも急速に変化している。過去においてはどこでも製造していた、紙包装のニトログリセリンを主剤とした爆薬は、すでに姿を消している。

カナダでは、鉱山用のニトログリセリンを主剤とした爆薬の製造は殆どなく、安価な取扱いの容易な、ニトログリセリンの入らない爆薬にかわっている。

ヨーロッパの火薬産業は、東欧諸国が政策的な価格で西側へ攻勢をかけているため、大きい被害をこうむっている。

ノーベルの国内の販売は、英国政府の保護政策で支えられてはいるものの、かつて手中にしていたアフリカや中東の市場を、それがために失っている。

J. Bell 博士は、このように変化しつつある市場の情勢から、事業部の将来に関して悲感的な予測をしている。(ケミカル・エージ、1967. 7. 29 山本)