

## 爆 発 拡 管 法

桜井 武尚\* 金本 光郎\* 杉浦 政美\*

河内 敏一\*\* 浜田 普作\*\* 渡辺 正光\*\*

### 1. まえがき

最近、化学工業の発展はめざましいものがあり、それにともない幾多の技術の革新や改良が行なわれている。その中で、最も特筆すべきものの一つは火薬類を使用する爆発加工法である。掲題の爆発拡管法もその一つであつて、これは従来から、化学プラントの構成上不可欠な要素である多管式熱多換器の製作過程中的伝熱管と管板の接合を爆薬の力によつて行なうものである。従来は電力駆動によるローラーによつて拡管し管板に固定するロール拡管法が行なわれており、時にシール溶接を併用する事もある。爆発拡管法はこのロール溶接法に比べ、次のような特徴をあげることができる。

- 1) 各種材料に適用することができ、特にステンレス鋼管、アルマ加工管、二重管等に適している。
- 2) 操作が簡単であり、特別の装置等を特に必要としない。
- 3) 狭隘な位置においても施工が可能である。
- 4) シール溶接と併用する場合好適である。
- 5) 高速度の塑性加工を行なうため、拡管効果が大きい。
- 6) 管の軸方向の伸びがきわめて少ない。したがつて、管板面の変形が少ない。

以下、この爆発拡管法について、実験結果にもとづき、その概要を説明する。

### 2. 爆発拡管法の火薬類と施工法

爆発拡管法は爆薬の爆発力を利用して伝熱管を拡げ管板にもうけられた管孔に固定する方法で、これに使用される爆薬包は、現在、種々のものが考案されているが、その一例を示せば、写真1に示す如くである。

薬包に装填される爆薬は、その比重とともに、威力、薬量によつて爆発エネルギーの差異を与えるから、薬種、薬量の決定は、あらかじめ使用される伝熱管に対して実施する自由拡管テストによつて判定する。図1は二、三の異つた薬包の形式の効果を示したものであ

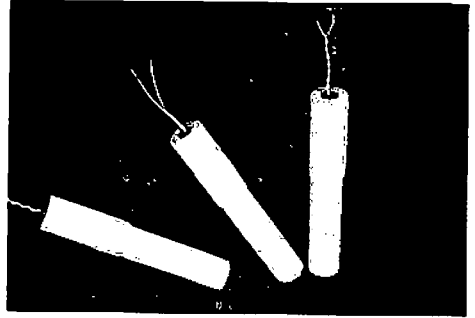


写真1 薬包の形状

る。

拡管の施工要領は、組立て後、個々の管に上記の薬包を装入し、全管を同時に斉発する方法、順次に点爆する方法、数区分に分割して行なう方法等、いずれを採るかは伝熱管の本数、形状等によつて決定される。

### 3. 各種材料の爆発拡管後の状況

爆発拡管法は、現在、一般に使用されている伝熱管のほとんどに適用可能である。写真2～5は各種材質の伝熱管を爆発拡管した一例を示すものである。

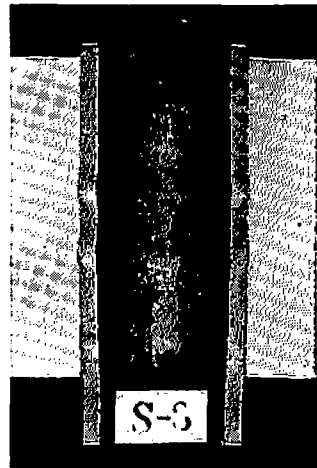


写真2 爆発拡管後の状況(1)

管：STB 35

25.40. D×2.7t

昭和42年11月12日受理

\* 日本油脂株式会社武蔵工場 受知果知多郎武蔵町

\*\* 三井造船所 永田造船所



写真 3 爆発拡張後の状況 (2)  
管: SUS 27 TB  
19.05 O.D. x 1.65t



写真 4 爆発拡張後の状況 (3)  
管: 二重管 25.40 O.D.  
× (TB 35-1.6t)  
× (B<sub>2</sub> TF 2-1.2t)

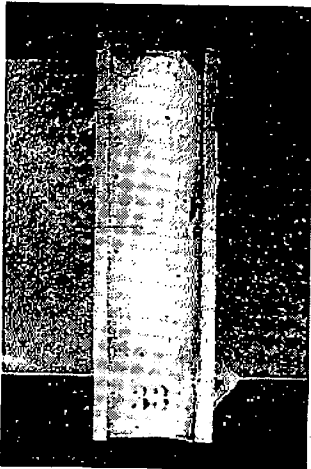


写真 5 爆発拡張後の状況 (4)  
管: アルマ加工管 (STB 35)  
19.05 O.D. x 2.11t

拡張後の伝熱管の内面は写真にみられるように、全く損傷なく拡張されており、特に管板にもうけられた溝(グループ)に良く喰いこんだ状況が判る。管の内径変化の状況は、ロール拡張の場合と異り、管板面より若干入った個所で最大変化量を示しており、それより奥になるに従って、漸次減少している傾向にある。その例を図1に示す。

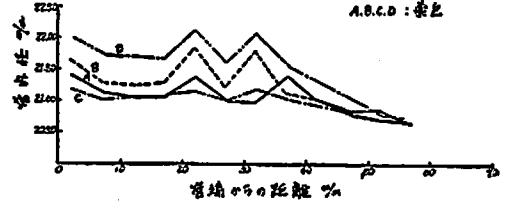


図 1 葉包の変化による管内径変化  
(STB-35, 25.4 O.D. x 2.11t)

また、従来のロール拡張法では内面のアルマ層が剝離するアルマ加工管(溶融アルミ中に管を浸漬して作られる。)あるいは、内管が著しく軸方向にのぼされるだけで、十分な固着までに至りにくい二重管の場合、爆発拡張によればこれらの問題点が解決される点が注目される点である。

#### 4. 爆発拡張の成果に及ぼす諸因子

ロール拡張法においては、管板、伝熱管に関する諸条件拡張の成果に大きく影響することは良く知られたことであるが、爆発拡張においても、その継手の機構は金属的な場合でなく機械的接合であるので、ロール拡張の場合と同様の因子が程度の差はあれ、同じように影響する。

##### 4-1. 管と管板の硬度差及びフリアランス

管は STB 35 (25,400 O.D. x 2.9t), 管板は 5541 SF 50 で、夫々熱処理を行なつて硬度をかえ、管と管板の硬度差を種々に変化させて実験を行ない、その影響を調査した。

また、管と管板の間隙(クリアランス)を0.10, 0.20, 0.30mm と変化させ、これらの変化が爆発拡張後の管の回着力や気密性にどのように影響するかも検討した。この時、拡張率は管板面より 13mm 内部の点について測定された諸元の変化量から次式に従つて算出する。

$$K = \frac{D_2 - D_1 - G}{2t} \times 100 \quad (1)$$

K: 拡張率 %,  $D_1$ : 拡張前の管内径 (mm)

$D_2$ : 拡張後の管内径 (mm), G: 管と管板の間隙 (mm), t: 拡張前の管内厚 (mm)

固着力は管板から押し抜くときの最大荷重を拡張面積で除して求める。

これらの結果をまとめて示すと図3、図4の如くであつた。

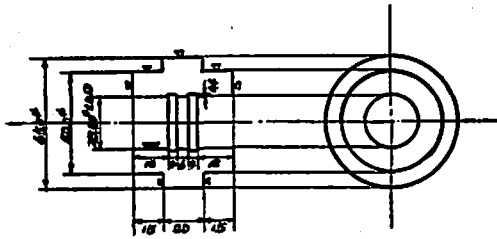


図2 モデル管板の形状

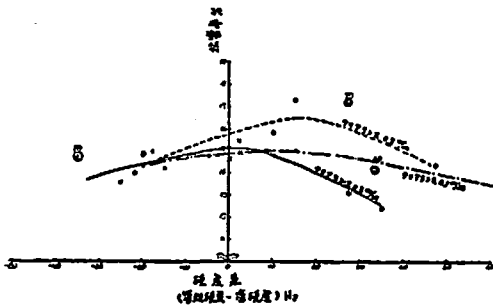


図3 硬度差と拡張率の関係

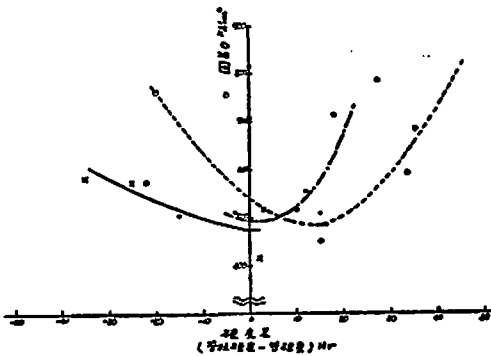


図4 硬度差と固着力の関係

すなわち、拡張率と管と管板の硬度差の関係は、管板硬度が0~20HV程度高い範囲で最大の拡張率を示し、クリアランスの少ないほど、硬度差による拡張率への影響は少ないと思われる。また、硬度差が正の場合は硬度差と固着力との関係は、硬度差が大となるほど固着力は大となる傾向があり、各クリアランスとともに硬度差が0~20HVを示す範囲で最低値を示している。

静水圧による漏洩試験の結果は、硬度差約30HV(管板硬度が管の硬度より30HV高い場合、または逆に30HV低い場合)を示すものが50kg/cm<sup>2</sup>以上の圧力下で洩れ始めているが、それ以上、あるいはそれ拡張エ

れ以下の硬度差を示す組合せでは70kg/cm<sup>2</sup>の圧力まで洩れは認められない。

以上の結果から、従来のロール拡張管では管板の硬度が管の硬度よりも若干高い方が良好な結果を示すとされており、管と管板の精度を良くすることが、提言されているが、本爆発拡張管の場合には管の硬度を必ずしも管板硬度より低くする必要はないものと考えられる。

#### 4-2. グリープの影響

ロール拡張管法においては、管孔面に2条ないし3条の溝(グループ)がもうけられTEMAでは、石油精製装置の場合1/8" W x 1/16" Dのグループを少なくも2条以上もうけるべきことが要求されている。

爆発拡張管においても、このグループの存在は固着力あるいは気密性を高めることは容易に推測される。

図5はロール拡張管法と爆発拡張管法のグループの有無による固着力の大小を比較した一列を示したものである。これによると、ロール拡張管法の場合はグループの有無による固着力の差は顕著に現われ、特に、グループが存在するときはロール拡張管、爆発拡張管とも拡張率の増加とともに固着力は増大し、グループが無い場合には約200kg/cm<sup>2</sup>程度の固着力に飽和する傾向を示している。故に、固着力に関しては、爆発拡張管ではグループの有無はロール拡張管ほど大きく影響していないといえる。しかし、前述のように、爆発拡張管法の場合グループへの管の密着性は非常に良好であるため、グループの存在による気密性の向上効果にロール拡張管よりも大きいと確定される。

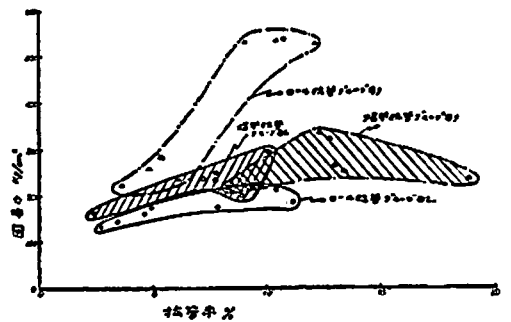


図5 グループの有無に対する拡張率と固着力の関係

#### 5. 拡張そのばらつきについて

ロール拡張管法においては拡張率はかなりばらつくことが経験されており、その原因が材質、管内厚、クリアランス、管本数等の変化によると考えられている。爆発拡張管ではこの他に、爆薬の量等によつて変る

6は、同一薬種を用いた場合、薬量の変化によつて素管の外径がどの程度変化するかについて、2~3の材質の伝熱管について自由拡管の条件で調査した結果である。

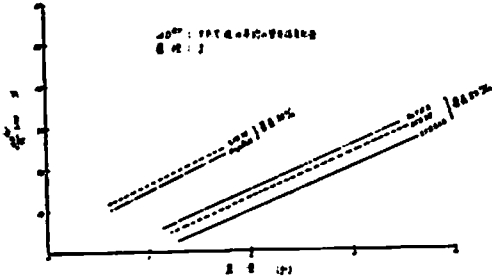


図6 各種材質の管に対する薬量と変形量の関係

この図を見ると、素管の材質についての塑性変形量（管の外径変化量の平均値を素管の外径で除した百分率）には差があることに当然であるが、薬量の変動によつてもかなり著しく変化する。したがつて、薬量を決定することもさることながら、秤量のばらつきについても極力さける必要がある。このようにすれば同一条件における自由拡管の変形量はきわめて均整となり均一な拡管効果が期待できる。

一方、拡管率の算式には、上記管肉厚、クリアランス、管内径等の諸元を使用するため、その測定誤差に加えて、製作上の誤作もあり、必然的に、ある程度のばらつきが生ずる。したがつて、爆発拡管法においても拡管率の分布にはある程度のばらつきが生ずることは否めない。例えば、次に示す図7は爆発拡管法、お

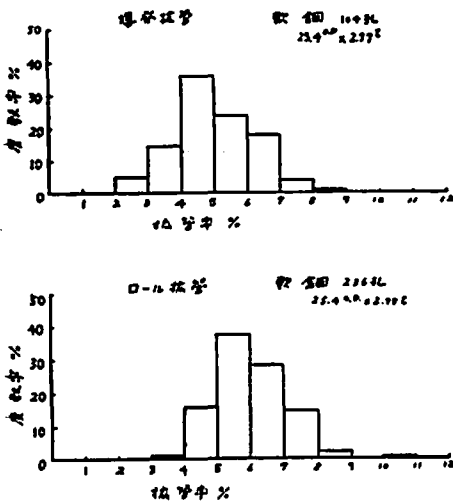


図7 拡管率の分布状況

よびロール拡管法の施工による拡管率の分布状況を調査した一例を示すものである。この施工条件は表1に示したもので、爆発拡管に使用した薬包、およびロール拡管の設定電流は、表中の目標拡管率となるように適合させてある。

表1 拡管率の分布状況を調査した材料

拡管法	目標拡管率 %	伝熱管	管板	管孔
爆発拡管法	5	STB-35 25.4OD×2.77t	SF-45 550φ×100t	104×32 P
ロール拡管法	8	STB-35 25.4OD×2.77t	SF-45 760φ×80t	236×32 P

ここに行つた STB 35 については、ロール拡管法、爆発拡管法ともよく似た拡管率の分布状況を示し、爆発拡管法では、ばらつきの中心はほとんど目標拡管率に一致したが、ロール拡管法では目標の 8% よりやや低い値を示した。

#### 6. 管板面の変形

従来、ロール拡管法によつて製作されている管渠（管と管板を組立てたもの）においては、管渠のねじれ、管板の傾斜、あるいは管板面のそり等が発生する傾向が強い。これを防止するために適正拡管順序、適正拡管率などについて種々の検討が行なわれていたが、未だ完全な解決には到つておらず、管渠組立て後に再加工を実施しなければならない場合がしばしば経験されている。

これに対し、爆発拡管法ではロール拡管法のように回転方向の力成分がないため、管渠全体のねじれは発生しない。また、管を軸方向にのぼす力成分も少なく、ほとんどの力が管を上げる方向に働くため、管の軸方向ののびによる管板のそりの発生も少ない。

図8は 19.05mm O. D の管を 221 孔の管板に対して爆発拡管したときの管板面に発生した変形量を示したものである。これによれば、中心部で 0.5~0.55mm 程度の変化が実測され、薬包装入側にむかつて凸型を示し、外周に向つて漸次その数値を減ずる傾向にある。この数値は、これに使用した薬包の装薬長が 50mm であつたことから、拡管長が 50mm に制約され、このため管板は片側（板厚の約 1/2）のみが荷重をうけたためである。そのほか管と管の間の管板が互に圧縮されたために発生した隆起も含まれる。

然し、これらの値を実用的に見ればほとんど問題ない数値であるといえる。

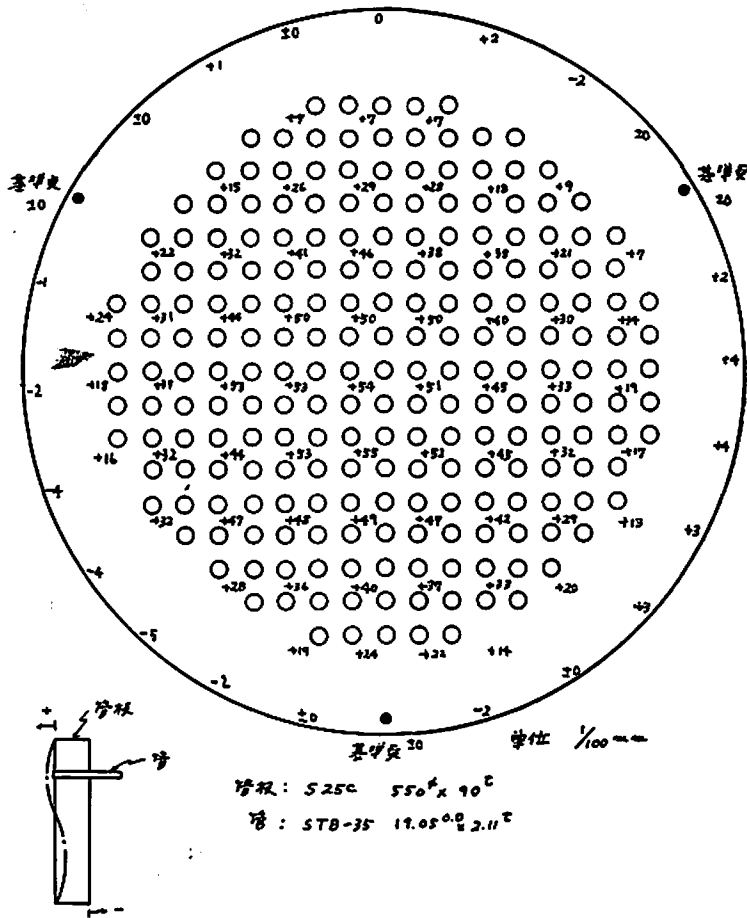


図 8 爆発拡張後の管板の変形

### 7. 再拡張の方法

ロール拡張法の場合、第1回目の拡張を施工した後に実施される漏洩試験によって洩れが発生したとき、もう一度ロール拡張を行なう、いわゆる、増締めを行なって洩れを止めている。爆発拡張を実施して洩れが認められた場合、果して再拡張を行なって洩れを防止できるか否かが一つの問題である。この点について検討した結果は表2の如くであつて、爆発拡張後、ロール拡張を行なった場合、充分洩れを防止できることが確認された。写真6はロール拡張法による増締め後の状況を示すものである。

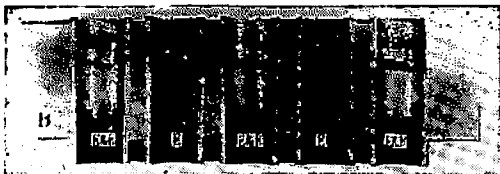


写真 6 ロール拡張法による増締め後の状況  
管: STB 35  
25.40 D. x 2.77t

尚、上の例はロール拡張による増締めの場合であるが、爆発拡張による増締めも有効であることが確認されている。

### 8. シール溶接

実際に製作される熱交換器の管束では、使用される伝熱管の数は数百以上にも及び、その内には諸元のばらつきが多く含まれており、ロール拡張法では完全に洩れの起らない継手を期待することは、圧力が低い場合をのぞいては非常に難しいのが現状である。

爆発拡張法による伝熱管と管板の継手部は、モデル試験の結果ではロール拡張法による場合よりも洩漏開始圧力が高くなることは判つたが、実際の機器においては、前記諸元のばらつき等によつて、試験圧力によつては完全に洩れない継手を製作することは困難な場合があると考えられる。最近のように高温高圧で、しかも洩れが絶対に許されない熱交換器が要求されるようになってくると、必然的に管端のシール溶接施工が必要となつてくる。このシール溶接の方法には種々の方法が考えられているが、拡張とシール溶接の併用に

よつて、強度的にも漏洩に対しても充分耐え得る継手形成がのぞましい。

しかし、この併用法はローラー拡管においては、ローラーマンドリルの潤滑油を必要とし、その残留が溶接の際の欠陥発生の大きな因子となつて、健全な洩れ止め溶接の施工を期しがたいうらみがある。故に、シール溶接を先に行ない、その後に拡管を行なう方法も考えられるが、拡管の際の管の変形によつて溶接部に割れその他の欠陥を発生することがあり、決して好ましい施工法とはいえない。

一方、爆発拡管法による場合は、時に拡管のための潤滑油は必要とせず、管束組立時に管及び管板に附着している油脂類を完全に除去しておけば、その後の爆発拡管の施工によつての油脂類の付着はないため、溶接に際しては欠陥のない健全な溶接部が得られることを期待できる。

写真7, 8はアルマ加工管の管端を爆発拡管施工後にシール溶接を行なつた場合の一例を示すものである。

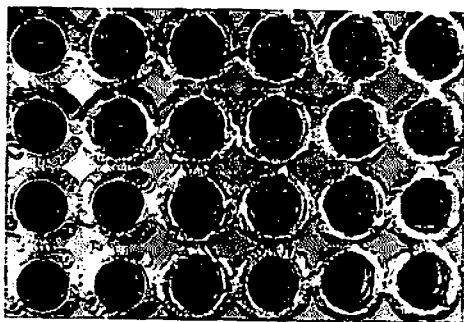


写真7 アルマ加工管のシール溶接  
管：19.05 O. D. × 1.65t  
TIG 溶接法

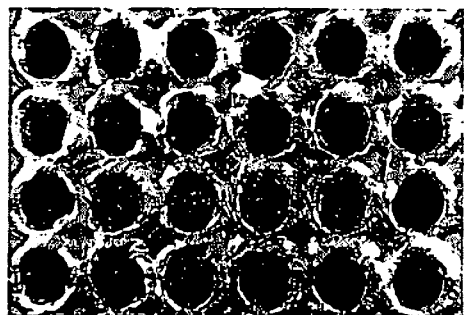


写真8 アルマ加工管のシール溶接  
管：19.05 O. D. × 1.65t  
D 309 被ふくアーク溶接

溶接方法は、軟鋼フィラーメタルを使用した TIG 溶接法(写真7)と D 309 を使用した 被覆アーク溶接法(写真8)を比較したが、いずれの場合もなら

欠陥なく施工され、ロール拡管施工後に溶接する場合の困難さが解決され、また洩れ防止に対する継手の信頼度が著しく向上している。

### 9. 爆発拡管法の実施例

以上、爆発拡管法についてその諸殊性をのべたが、次に、これを実際の機器に適用した例をのべる。

〔例 1〕

伝熱管：STPA 22

34 O. D. × 2.9t × 4000l × 27本

管板：ASTM A-182 G-F 12

写真9は爆発拡管施工時の状況を示している。

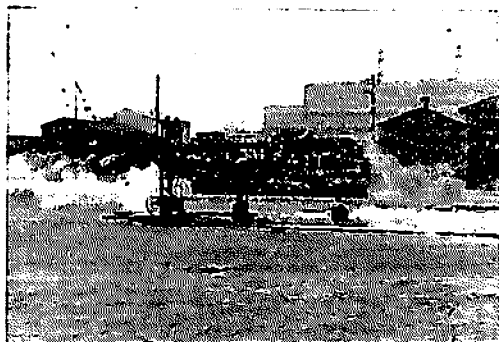


写真9 爆発拡管施工の瞬間

爆発拡管後の拡管率は 5~6% であり、そのばらつきはほとんどなく均一な拡管状況を示した。写真10は拡管後の管端部のシール溶接状況を示す。

〔例 2〕

伝熱管：二重管Uチューブ

25.4 O. D. ×  $\left(\frac{STB 35-1.6t}{BsTF 2-1.2t}\right) \times 210本$

管板： $(SB 42 B-25t)$  のグラッド鋼

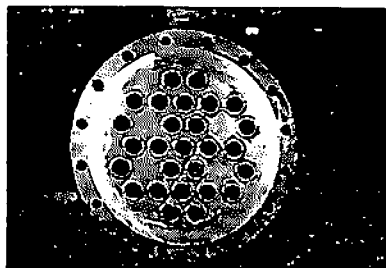


写真10 シール溶接後の状況  
管：STPA 22

写真11はこのVチューブタイプの爆発拡管を施工した瞬間を示している。

〔例 3〕

伝熱管：STB 35 内外面アルマ加工管

19.05 O. D. × 2.1t × 6000l × 326本

管板：S 25 C



写真11 爆発拡張施工の瞬間

写真12はこの施工例で薬包をセフトした状況を示している。

#### 10. あとがき

以上、爆発拡張法についてその概要をのべたが、この適用には、尚解決すべき問題も多く残されている。今後、さらに検討を加えて行きたいと考えている。このとき、低い使用圧力のもとでは、ロール拡張法によつても充分可能であるなどの理由により、それほど必

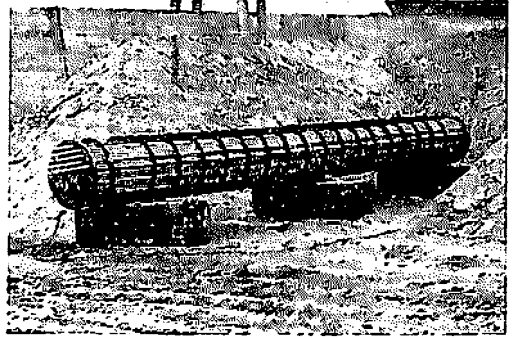


写真12 アルマ管の薬包セット状況

要が感じられないようであるが、高温、高圧の使用条件下では拡張とシール溶接の併用が不可避であり、また、材料費の節減のため使用され始めたアルマ加工管、二重管等の特殊管には、従来法では適用上多くの問題があり、その大きな解決法の一つとして、今後、これらの伝熱管の実用化の進展とともに爆発拡張法の利用は進められて行くものと思われる。

---

## On Explosive Expanding

by T. Sakurai, M. Kanamoto, M. Sugiura, T. Kawamura,  
S. Hamada and S. Watanabe

Recently the chemical industries have made remarkable progress, and a lot of demands for new techniques by which we can construct a chemical plant at lower cost and in better condition have grown.

Explosive expanding is one of explosive workings which give an answer to above demands, and a new method to expand and fix tubes to a tube plate by especial explosive charges when we construct a heat exchanger.

This paper presents the practical results of its working and shows that this method has very favourable characteristics as follows:

- (1) It can be adapted to the tube of almost any kinds of metal, but especially, it is suitable to almer tube or clad tube.
- (2) There are less defects after seal welding around the tube.
- (3) Elongation of tube in axial direction is very small.