- ells, Bull. Univ. Osaka Pref., Ser. A, 15 (1966), p. 1
- 8) たとえば, 溝口, 初田: 胴部分を2箇所部分的に支持された横置き貯蔵の強さ, 日本機械学会論文集(第1部), Vol. 41, 341号(1975), p. 655 (17) 式, 溝口, 井上: 両端を支持されロープにて中央に荷重を受けたドラムの応力および変形, 日本機械学会論文

集(第1部), Vol. 29, 203号(1963), p. 1238 (4) 式, 溝口, 平野, 保田: ロープにて吊られた円筒かくの変形と応力, 日本機械学会論文集, 投稿中

- 9) 溝口: 等間隔に支持を有する横置貯蔵の強さ, 日本機械学会論文集(第1部), Vol. 20, 95 (1954), p. 483

水冷法による円周多層突合せ溶接の残留応力とその生成機構*

上田 幸雄**, 中長 啓治**, 清水 翼***, 大久保克巳****

Residual Stresses and Their Mechanisms of Production at Circumferential Weld by Heat-Sink Welding*

by Yukio Ueda**, Keiji Nakacho**, Tsubasa Shimizu*** and Katsumi Ohkubo****

Many pipes of stainless steel such as SUS 304 are used for various facilities including nuclear energy plants. In some specific conditions, stress corrosion cracking may occur on the inner surface of these pipes in the weld zone. In order to mechanically prevent the stress corrosion cracking from occurring, welding residual stresses on this surface should be converted into compressive ones. In the previous report, the authors showed effectiveness of the heat-sink welding (water cooling) to accomplish this end by conducting theoretical analysis and an experiment on residual stresses in the 4B pipe of SUS 304 by the conventional welding and the heat-sink welding at a certain standard heat-input condition.

In this research, different pipe sizes and varied heat-input are applied. The welding residual stresses by the conventional welding and the heat-sink welding are obtained by the theoretical analysis and their production mechanisms are clarified. Hence the influence of the above changes of conditions on effectiveness of the heat-sink welding is investigated. The main results are summarized as follow.

- (1) In case of thin pipes such as 2B and 4B pipes, it is important to minimize heat-input per one pass (especially for latter half passes) in order to improve the effectiveness of the heat-sink welding. The effectiveness can be predicted either by theoretical analysis of the temperature distribution history with consideration of the characteristic of heat transfer under spray-watering or by experimental measurement.
- (2) In case of 24B pipes, thick pipes, it is desirable to minimize heat-input for the first half passes, by which the heat-sink welding becomes more effective. In addition, no matter whether the conventional welding or the heat-sink welding, it is important to prevent angular distortion which produces tensile axial stresses on the inner surface of the pipe in the weld zone. Possible measures to meet these requirements are to apply restraining jigs, to minimize the section area of the groove (ex. application of the narrow gap arc welding), and to change continuous welding to skip one.

1. 緒 論

SUS 304 等ステンレス鋼管は原子力プラントをはじめ種々の設備において多く使用されている。しかし、次の3つの条件が重畳する場合には、溶接部においてその

内表面で応力腐食割れが発生することがあると考えられている。すなわち、

- (1) 溶接による高い引張残留応力, (2) 材質の鋭敏化, (3) 酸素を含んだ腐食環境

したがって、これを力学的に防止するには、内表面の溶接残留応力を圧縮応力にすることである。

前報告¹⁾では、SUS 304・4B 管をある標準的な溶接条件(入熱量)で空冷法と水冷法で溶接した場合の残留応力を理論解析と実験により求め、その生成機構を明らかにした。そして、残留応力分布の改善に水冷法が非常

*原稿受付 昭和57年9月1日(全国大会論文発表講演)

**正 員 大阪大学溶接工学研究所 Member, Osaka University

***正 員 (株)日立製作所機械研究所 Member, Hitachi, Ltd.
**** 大阪大学大学院(現在川崎重工業株式会社) Osaka University (Present Address: Kawasaki Heavy Industries, Ltd.)

に有効な溶接法であることを示した。同時に、理論解析結果が実験結果とよく対応し、理論解析が有用であることも確かめた。

水冷法を用いた実験は数多く実施されているが、その結果^{2,3)}によると、鋼管寸法及び入熱量が変化すると水冷法の有効性が低下する場合がある。そこで、本研究では、まず、理論解析により、種々の鋼管寸法及び入熱量に対して、空冷法及び水冷法による残留応力を求める。次に、その生成機構を解明することにより、これらの条件の変化が水冷法の有効性に及ぼす影響について検討し、水冷法の有効な条件を見出す。

2. 空冷及び水冷溶接法による残留応力

2.1 解析対象及び解析法

SUS 304 鋼管を円周多層突合せ溶接した場合の残留応力を理論解析により求める。鋼管の寸法としては、2B 管、4B 管及び 24B 管を取り上げる。その試験体の寸法及び積層順序を Fig. 1(a), (b) 及び (c) に示す。溶接法としては、試験体を自然冷却させる通常の溶接法 (Conventional Welding, 以後、空冷法と呼ぶ) と、溶接中溶接部内表面をスプレー噴水にて強制的に冷却させる方法 (Heat-Sink Welding, 以後、水冷法と呼ぶ) の 2 つの方法を採用する。その溶接条件 (入熱量) を Table 1 に示す。この溶接条件は空冷法及び水冷法に対して共通である。4B 管に対しては、標準的な入熱条件の他に、入熱量を大きくしパス数を減じた場合も解析する。

理論解析では、まず、温度解析を行い、次に、その温度分布を用いて熱応力解析を行う。温度解析には差分法

Table 1 Conditions of welding (Heat input)

Size of Pass No.	2B	4B			24B
		Q-14	Q-23	Q-45	
1	8.2	13.3			7.2
2	8.2	7.3			21.7
3	8.2	7.3			13.1
4	8.2	15.3	18.0	25.0	13.1
5	8.2	14.2	22.0	45.0	13.1
6	8.2	14.0	23.0		13.1
7 ~ 16					19.8

(kJ/cm)

を、熱応力解析には有限要素法に基づく熱弾塑性解析法⁴⁾を適用する。本研究で取り扱う鋼管の円周多層突合せ溶接は実際は 3 次元状態における現象であるが、現在の計算機の性能 (演算速度、記憶容量) では、非線形の 3 次元熱応力解析を直接行うことは、経済的に非常に難しい状態にある。そこで、試験体が軸対称であることに注目し、解析では溶接も軸対称になるように行われたと考える。すなわち、各パスの溶着金属が全周にわたって瞬間的に同時に盛られたと仮定する。このように考えると、解析は軸対称問題となり、2 次元問題と同程度の記憶容量と演算時間で、3 次元応力状態としての熱応力解析を得ることができる。

解析に用いた SUS 304 材に対する材料定数を Fig. 2 及び 3 に示す。Fig. 2 は温度解析に用いた物理定数⁵⁻⁷⁾を示しており、水冷法の場合のスプレー噴水に対する熱伝達率の温度依存性 (文献 7 と実験による温度計測結果より決定した) に特徴がある。Fig. 3 は熱応力解析に用いた力学的性質^{5,6)}を示し、本供試材は 1000℃ 付近の高温までかなりの強度を有していることが分かる。又、その間の温度上昇及び冷却過程で相変態を生じない。

Fig. 1 Dimensions and build-up sequences of pipes used in analysis

Fig. 2 Physical properties used in heat conduction analysis

Fig. 3 Mechanical properties used in thermal stress analysis

2.2 溶接残留応力

2.2.1 2B 管の場合

2B 管の場合の溶接残留応力分布を, 空冷法と水冷法の結果を比較して, Fig. 4 (a) 及び (b) に示す. 前報告¹⁾での 4B 管の場合と同様, 水冷法が有効であることを示している. すなわち, 溶接部内表面で, 空冷法の場合, 軸方向応力 (σ_z) 及び周方向応力 (σ_θ) がともに大きな引張応力であったのが, 水冷法の適用により, とともに大きな圧縮応力に転じている. ただし, 周方向応力に関し

ては, 一部の領域で圧縮応力の値が小さくなっている.

2.2.2 4B 管の場合

4B 管の場合の結果を Fig. 5(a) 及び (b) に示す. 4B 管では入熱量を変化させた場合の影響を調べた (前報告では Q-14 のみ). Q-14, Q-23, Q-45 と入熱量を大きくしていった (その結果, Q-45 はパス数一つ減じた) 場合も, 水冷法の効果は基本的には認められるが, Q-45 では, 2B 管の時と同様, 一部圧縮応力の値が小さくなっている領域が見られる.

2.2.3 24B 管の場合

24B 管の場合の結果を, Fig. 6(a) 及び (b) に示す. 2B 管及び 4B 管の場合と比べ, 残留応力の分布形状はかなり異なっている. 溶接部内表面に注目すると, 空冷法の場合, 軸方向応力 (σ_z) 及び周方向応力 (σ_θ) はともに引張応力ではあるが, その値は小さい. 一方, 水冷法の場合, 周方向応力は大きな圧縮応力になっているが, 軸方向応力は小さい圧縮応力となり, 水冷法の有効性が低くなっているようである.

3. 溶接残留応力の生成機構と水冷法の有効性に対する考察

3.1 2B 管及び 4B 管の場合

3.1.1 残留応力の生成機構

(a) Axial stresses σ_z

(b) Circumferential stresses σ_θ

Fig. 4 Welding residual stresses of 2-inch pipes on the inner and outer surfaces and at the cross section ($z=0$)

(a) Axial stresses σ_z (b) Circumferential stresses σ_θ **Fig. 5** Welding residual stresses of 4-inch pipes on the inner and outer surfaces and at the cross section ($z=0$) (a) Axial stresses σ_z (b) Circumferential stresses σ_θ **Fig. 6** Welding residual stresses of 24-inch pipes on the inner and outer surfaces and at the cross section ($z=0$)

前報告⁷⁾では, 4 B 管で Q-14 の場合の残留応力の生成機構を考察し, 次のような結論を得た. すなわち,

- (i) 管は薄板 (板厚 8.6 mm) であり, 多層溶接のパス数は少ないため, 後半のパスの溶接により生じる応力が支配的である. すなわち, 最終パスだけを対象として理論解析あるいは実験を行っても, 各溶接法による残留応力分布の特徴は十分に見い出される.
- (ii) 溶接部板厚方向の残留応力分布には, その方向の過渡温度分布 (内外表面での温度差) が支配的である. すなわち, 空冷法では溶接後すぐに内表面まで高温域 (例えば, 1000℃以上の領域) が拡がり, 板厚方向の温度差がなくなるのに対し, 水冷法では板厚方向に大きな温度差が生じ続ける. このような温度変化に伴う熱膨張・収縮の内的拘束によって, 空冷法では軸方向及び周方向残留応力がともに溶接部内表面で大きな引張応力になるのに対し, 水冷法では大きな圧縮応力になる (この機構の詳細については前報告を参照のこと).

本研究で解析した 2 B 管の場合及び 4 B 管で入熱量を変化させた場合の残留応力の生成機構も基本的に上記と同じである. ただし, 2 B 管及び 4 B 管で大入熱 (Q-45) の場合, 水冷法を適用しても溶接部で一部圧縮応力が小さくなっている領域があった. これは板厚に対して入熱量が大きく, 水冷法を適用しても内表面が十分冷却されなかったためである. すなわち, 理論解析結果では, 前報告での 4 B 管・Q-14 の場合は, 溶接部内表面での最高到達温度が150~250℃程度であったのに対して, 2 B 管の場合は500~900℃, 4 B 管大入熱の場合は800~1300℃の高温まで上昇している. このため, 板厚方向温度差が, 4 B 管・Q-14 の場合に比べ小さくなり, それにより生成される内表面圧縮残留応力が小さくなったと考えられる.

なお, 水冷効果の小さい, すなわち, 圧縮応力の小さい領域が溶接金属部よりむしろそのすぐ外側で顕著に現われるのは主に次の理由によると考えられる. 溶接金属部では裏波ビードが内側に少し突き出ている (Fig. 1 参照) ため表面積が広くなり, 水冷による冷却効果はそれに隣接する母材熱影響部より大きくなる. その結果, 内表面での最高温度は, 溶接金属中央部でなく, ボンド付近に現われ, その領域の圧縮応力を低下させている.

3.1.2 水冷法の有効性に対する考察

上記のように 2 B 管及び 4 B 管で大入熱の場合, 管内面を水冷しているにもかかわらず, 温度は1000℃前後まで上昇し, 圧縮残留応力は小さくなった. したがって 2 B 管及び 4 B 管のように薄板の場合, 1パス当り (特

に後半のパス) の入熱量をできるだけ小さくすることが水冷法の有効性を高める上で重要である. これに関連して注目すべきことは, 水冷による冷却効果と管表面温度との関係である. Fig. 2 に示したようにスプレー噴水に対する熱伝達率は温度によって大きく変化する. すなわち, 約150~200℃の温度範囲で非常に大きな値となり, 表面温度が上昇するのを抑制するのに非常に効果があるが, 表面温度がその領域を越えると, 伝達率は大きく低下していく. したがって, 入熱量を板厚に対して十分小さい値から大きくしていくと, ある入熱範囲内では, 内表面の最高到達温度は 200℃ 前後を越えない (4 B 管で Q-14 の場合がこの例) が, その入熱範囲を越えると最高到達温度は大きく上昇する可能性がある (2 B 管の場合, 4 B 管で Q-45 の場合がこの例). したがって, 入熱条件を設定する場合には, 前もって, 上記のような噴水熱伝達特性を考慮した温度解析を行うか, 実験によって温度計測することにより, 内表面での最高到達温度が伝達率のピーク温度を越えないような入熱量にすることが, 水冷法の有効性を確保する上での必要十分条件であると考えられる.

3.2 24 B 管の場合

3.2.1 残留応力の生成機構

24 B の場合は, 管の板厚が 30.9 mm あり, 16パス9層の多層溶接となる. このため, 2 B 管及び 4 B 管の場合と異なり, 空冷法及び水冷法とも, 厚板の多層突合せ溶接としての残留応力の生成機構を示す. すなわち, 各パスの溶接により生じる応力の積み重ねとして残留応力が生成される.

(1) 空冷法の場合

まず, 空冷法の場合の残留応力の生成機構について考える. これまで内表面での残留応力分布についてのみ注目してきたが, 残留応力の生成機構を考える上では断面内板厚方向の分布を調べることも重要である. そこで, Fig. 6(a) 及び (b) に示した 24 B 管の溶接部中央断面での残留応力分布に注目する. この残留応力分布は厚板の平板の多層突合せ溶接時の残留応力分布⁸⁾ に似ている. Fig. 7(a) 及び (b)⁸⁾ は, 板厚 50 mm, 板幅 95 mm の2枚の厚平板 (SM-50) を20パス20層 (各パスの入熱量, $Q=30 \text{ kJ/cm}$) で狭間先多層突合せ溶接した場合の残留応力分布で, 溶接部材の横曲り変形 (角変形) 及び縦曲り変形を拘束した場合 (拘束状態 A) 及び溶接部材に外部から何ら拘束を加えなかった場合 (拘束状態 B) の両極端な拘束状態に対して理論解析したものである. 拘束状態の違いによる残留応力分布の差は下表面付近で顕著に現われている.

24 B 管の空冷法による溶接残留応力分布 (Fig. 6) を

(a) Transverse stresses σ_x (b) Longitudinal stresses σ_y Fig. 7 Welding residual stresses of thick plane plate at the cross section ($z=0$)

前記の平板の多層突合せ溶接の場合の分布 (Fig. 7) と比較すると、材料、試験体及び開先形状、溶接条件など異なる点が多いにもかかわらず、軸方向応力 (σ_x) 及び周方向応力 (σ_θ) はともに拘束状態 A と拘束状態 B の場合の間の分布形状を示しており、残留応力の生成機構は類似のものであると考えられる。そこで、まず、この平板の多層突合せ溶接で、各拘束状態のもとで溶接部に生じる残留応力の生成機構について簡単に述べておく。

(a) 拘束状態 A の場合

各パスの新しい溶接金属及び熱影響部の収縮により、そこには引張応力が生じ、それより下の層には圧縮応力が付加される (この結果、下表面付近の応力は圧縮側へ向う)。これが、各パスごとに繰り返される。

(b) 拘束状態 B の場合

上記の多層溶接における基本的応力の他に、横曲り及び縦曲り変形が生じることによる応力が付加される (下表面での σ_x 及び σ_θ がともに大きな引張応力になっているのはこのため)。

本研究で解析している円管の円周多層突合せ溶接では、試験体が軸対称であるため、縦曲り変形は内部的に拘束されると考えられるが、横曲り変形はある程度生じる。したがって、円管の拘束状態は上記の平板の 2 つの拘束状態の中間にあり、残留応力もそれに対応したものになっていると考えられる。いいかえると、24 B 管の場合の残留応力の生成機構は、拘束状態 A の生成機構に、拘束状態 B の要因、すなわち、横曲り変形がある程度加わったものと考えられる。ただし、この横曲り変形の原因は、平板の突合せでは溶接線直角方向 (板幅方向) の収縮であるが、円管の突合せではもう一つの大きな要因として周方向 (溶接線方向) の収縮がある。

(2) 水冷法の場合

水冷法による残留応力を、溶接部中央断面について、空冷法の場合と比較する (Fig. 6)。2 つの溶接法による残留応力分布は、軸方向応力 (σ_x) 及び周方向応力 (σ_θ) とともに、内表面付近を除くとほぼ同じで、水冷法の場合の残留応力の生成機構も空冷法の場合と基本的に同じであると考えられる。

ここで、上述の内表面付近の残留応力分布が異なる理由を考える。まず、内表面の応力の履歴を調べる。Fig. 8(a) 及び (b) は内表面溶接部中央での軸方向応力 (σ_x) 及び周方向応力 (σ_θ) の履歴を示したものである。横軸は溶接された層数で、第 1 及び 2 層は水冷法の場合も空冷溶接している。2 つの溶接法で内表面応力に差が生じるのは、軸方向応力 (σ_x) に関してはその後の第 3 層、周方向応力 (σ_θ) に関しては第 3 ~ 5 層を溶接した時である。これらの層の溶接時には、2 B 管及び 4 B 管の時と同様、板厚方向に強制的に大きな温度差をつけることが有効で、この時期に水冷法の場合は内表面の応力が圧縮側へ転じている。一方、後半の層の溶接時には、2 つの溶接法で応力変化にあまり大きな差はない。これは層が増すと、特に強制的に内表面を冷却しなくても、板厚方向に大きな温度差が自然に生じることによる。つまり、後半の層の溶接時には、水冷法の効果は顕著に現われないと考えられる。逆に、この後半の溶接時には、(1) で述べた横曲り変形の影響が大きくなり、引張応力が加算されるため、水冷法の場合でも軸方向応力 (σ_x) は圧縮から引張へ進むことになるので注意を要する。

3.2.2 水冷法の有効性に対する考察

3.2.1 の (1) で述べた空冷法による残留応力の生成機構をもとに、応力分布の有効な改善法を考えると、次の点が重要である。すなわち、両極端な拘束状態にある平

Fig. 8 Stress histories of 24-inch pipes on the center of the inner surface during welding

板の残留応力分布 (Fig. 7) より明らかなように, 横曲り変形の影響は大きく, これを拘束治具等で防止することができると, 空冷法の場合でも, 溶接部内表面に圧縮残留応力が生じることが期待できる。

次に, 3.2.1 の (2) で述べた水冷法の場合の残留応力の生成機構をもとに, 有効な改善法を考える。

24 B 管のように厚板になると, 溶接部内表面の残留応力を圧縮化させるのに水冷法が有効であるのは前半のパスの溶接時だけで, 後半のパスに対しては有効性はほとんど無い。逆に, 横曲り変形のため, 同表面軸方向応力 (σ_z) は圧縮から引張側へ変化する (引張応力にはならないが, 圧縮応力としての値が小さくなる)。

上述の考察をもとにすると, 水冷法を用いた残留応力分布の有効な改善法の要点は次のようになる。

- (i) 水冷法が有効な前半のパスの間に, 内表面にできるだけ大きな圧縮応力を作っておくことが望ましく, そのためには, 2 B 管及び 4 B 管で入熱量を変化させた場合の結果より明らかなように, 各パスの入熱量をできるだけ小さくすることが効果的である。
- (ii) 水冷法が有効でない後半のパスでは, 横曲り変形

による軸方向応力 (σ_z) の引張側への変化量をしてできるだけ小さくすることが望ましい。このためには, 横曲り変形の主因である軸方向 (溶接線直角方向) 及び周方向 (溶接線方向) 収縮力のうち, 特に, 周方向収縮力を小さくすることが有効で, 狭開先にして溶接部の断面積を小さくする (溶着金属量を少なくする) とか, 連続溶接でなくスキップ溶接にするなどの方法が考えられる。勿論, 空冷法に対して述べたように横曲り変形を拘束することができれば, より効果的である。

なお, 本研究では軸対称問題として理論解析を行っているので, すなわち, 各パスの溶着金属が全周にわたって同時に盛られたと仮定している。その周方向収縮力は, 移動熱源による実際の溶接時より大きくなっていると考えられる。したがって, この収縮力に起因する横曲り変形によって付加される内表面の軸方向引張応力増分は, 実際は多少小さく, 軸方向残留応力は解析結果より圧縮側にあると考えられる。

4. 結 論

本研究では, SUS 304・2 B 管, 4 B 管及び 24 B 管を対象とし, 空冷法と水冷法による溶接残留応力を理論解析により求め, その生成機構を明らかにした。更に, 応力腐食割れの防止を考え, 残留応力分布の改善に対する水冷法の有効性 (溶接部内表面に圧縮残留応力を生成させる) について検討した。得られた結果を要約すると,

(1) 2 B 管及び 4 B 管のように薄板の場合, 1 パス当り (特に後半のパス) の入熱量をできるだけ小さくすることが, 水冷法の有効性を高める上で重要である。具体的には, 溶接による温度履歴をスプレー噴水の熱伝達特性を考慮して理論解析するか, 実験計測することにより, 溶接部内表面での最高到達温度が水冷伝達率のピーク温度 (200℃ 前後) を越えないような入熱量にすることが, 水冷法の有効性を確保する上で必要十分条件であると考えられる。

(2) 24 B 管の場合, 水冷法が有効な前半のパスでの入熱量をできるだけ小さくすることが望ましい。また, 空冷法あるいは水冷法にかかわらず, 溶接部内表面の軸方向応力を引張側へ進ませる横曲り変形はできるだけ防止することも重要で, そのためには, (i) 拘束治具を用いる, (ii) 狭開先にして溶接金属部の断面積を小さくす

* 軸方向収縮力は, 内表面軸方向応力に対しては, 拘束状態 A の場合に対する説明のように, まず, 圧縮応力を付加させる作用があり, 2 次的なものとして, 拘束状態 B の場合のように, 横曲り変形を生じさせることによる引張応力の付加がある。一方, 周方向収縮力は, 内表面軸方向応力に対しては, 横曲り変形を生じさせることによる引張応力の付加が第 1 の作用であると考えられる。

る,あるいは,④ 連続溶接でなくスキップ溶接にする,などの方法が効果的であると考えられる。

謝 辞

最後に,スプレー噴水の熱伝達特性に関してご助言頂いた大阪府立高専越智敏明講師に深甚なる謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 上田, 中長, 清水, 笠井; オーステナイト系ステンレス鋼管の多層円周突合せ溶接への水冷法の適用とその残留応力, 本誌, 49-1 (1980), 61-66
- 2) R. Ssaki et al.; Mitigation of Inside Surface Residual Stress of Type 304 Stainless Steel Pipe Welds by Inside Water Cooling Method, Schweissen in der Kerntechnik, Hamburg, Fed. Rep. of Germany, 1978
- 3) 桐原, 今井, 正岡, 佐々木; 管内水冷溶接による SUS 304 鋼管

溶接部の残留応力および鋭敏化軽減法, 本誌, 48-10 (1979), 756-762

- 4) Y. Ueda and T. Yamakawa; Analysis of Thermal Elastic-Plastic Stress and Strain during Welding by Finite Element Method, IIW Doc. X-616-71, and Trans. of the Japan Welding Society, 2-2 (1971) 及び上田, 山川; 有限要素法による熱弾塑性挙動の解析, 本誌, 42-6 (1973), 567-577
- 5) 日本機械学会; 非弾性構造解析法の実用化に関する研究 (Ⅰ), 非弾性構造解析法実用化研究分科会 (主査山田嘉昭), 1979
- 6) E. F. Rybicki et al.; Residual Stresses at Girth-Butt Welds in Pipes and Pressure Vessels, Battelle Columbus Laboratories for U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1977
- 7) 越智; 水噴流および噴霧による高温面の冷却に関する研究, 大阪大学提出学位論文 (昭-53)
- 8) Y. Ueda and K. Nakacho; Simplifying Methods for Analysis of Transient and Residual Stresses and Deformations due to Multipass Welding, Trans. of JWRI (Welding Research Institute of Osaka Univ.), 11-1 (1982), 95-103

パイプ円周溶接部の内圧による溶接残留応力除去効果*

松 岡 一 祥**, 直 井 保***

Effect of Internal Pressure on Release of Residual Stresses due to Circumferential Welds of Pipes*

by Kazuyoshi Matsuoka** and Tamotsu Naoi***

The circumferential weld is one of the most popular methods of fabrication of tubular structures and pipings. Due to the weld, residual stresses (hoop and axial) on the inside of the pipe are highly tensile. The tensile residual stress is one of the factors of intergranular stress corrosion cracking of pipings. Several methods which produce compressive residual stresses along the inner surface of the welded pipe have been investigated. They are the methods using thermal elasto-plastic process; induction heating for stress improvement, backlay welding, heat sink welding, and so on. On the other hand, it may be possible to improve the residual stresses due to the circumferential weld of pipes, using some mechanical process; for example, internal pressure, explosion along the inside surface of the weldment.

This paper deals with the stress release effect of internal pressure on the residual stresses due to the circumferential welds of pipes. In the first part, the analytical procedure is presented. The initial residual stress distribution is described as the sum of the "inherent stress" due to weld shrinkage and the stress induced by the "inherent stress". The incremental formula is presented for calculating the state of stresses under internal pressure. In the second part, the analytical results are compared with experimental results. The analytical results show good agreement with the experimental results. The final part of the paper deals with the assessments of stress release effect of internal pressure on the residual stresses due to the circumferential welds of pipes. The assessments are as follows.

- 1) The influence of welding conditions, dimensions and yield stress of pipes on the effect of internal pressure.

*原稿受付 昭和57年8月31日 (全国大会論文発表講演)

**正 員 船舶技術研究所 Member, Ship Research Institute

*** 船舶技術研究所 Ship Research Institute