

厚板多層溶接割れの研究

—MWC委員会供同試験研究総合報告書—

昭和58年2月

社団法人 日本溶接協会 鉄鋼部会  
技術委員会 M W C 委員会

## は し が き

最近ボイラ，化学圧力容器など溶接構造物の大型化に伴い，利用する鋼板の板厚はますます増大の傾向にある。この場合被覆アーク溶接のほかサブマージアーク溶接による多層溶接が広く用いられるが，発生する割れも従来のルート割れやビード下割れのほかに，厚板多層溶接に特有の横割れや変形割れなどの低温割れの発生傾向が大きくなり，必要予熱温度も高くなるなど，これらの割れの防止には施工面でも板厚の薄い構造物に比べていろいろと煩雑な問題が付随している。

一方，多層溶接ではパス間温度を予熱温度以上に保つ限り1パス溶接の場合よりルート割れが起こりにくいともいわれており，したがって，これらの割れの評価法にもこれまでとは異なった考慮が必要と考えられる。

ところで，溶接継手の割れ試験法にはこれまでも数多くのものが提案され，実用化されているがこれらの試験法の多くは，溶接部に発生する応力とひずみ，溶接変形や拘束，後熱効果あるいは水素の挙動などの諸条件の相異により，必ずしも厚板多層溶接のような実施工時の割れの評価に適切な試験方法とは言い難い。

そこで，鉄鋼部会 技術委員会では，昭和54年度から新しくMWC委員会（Multi-Pass Weld Committee）を設立し，昭和53年まで行われたPMS委員会（中・常温圧力容器用高強度鋼材規格作成）の成果その他厚板多層溶接部割れに関する基礎的実験資料や，実施工時の溶接割れ発生状況などを十分把握することにより，厚板多層溶接における合理的な割れ感受性の評価，割れ防止のための鋼材成分規制の考え方の確立，さらに割れ試験法の標準化を目的とした調査研究活動を行うこととした。

## 委 員 会 構 成

主 査	田 村 博	東京工業大学工学部生産機械工学科
幹 事	小 林 卓 也	船舶技術研究所溶接工作部
”	奥 村 誠	新日本製鉄(株)製品技術研究所
”	百合岡 信 孝	新日本製鉄(株)製品技術研究所
”	矢 田 敏 夫	石川島播磨重工業(株)溶接研究所
委 員	金 沢 武	東京大学名誉教授
”	稲 垣 道 夫	金属材料技術研究所溶接研究部
”	小 倉 信 和	横浜国立大学工学部エネルギー材料研究施設
”	佐 藤 邦 彦	大阪大学工学部溶接工学科
”	寺 崎 俊 夫	九州工業大学材料工学科
”	上 田 幸 雄	大阪大学溶接工学研究所
”	青 木 真 一	川崎製鉄(株)製鋼鋼材技術部
”	平 井 征 夫	川崎製鉄(株)技術研究所
”	寺 嶋 久 栄	川崎製鉄(株)技術研究所
”	石 沢 隆 夫	(株)神戸製鋼所鉄鋼生産本部
”	笠 松 裕	(株)神戸製鋼所加古川製鉄所
”	高 橋 英 司	(株)神戸製鋼所中央研究所
”	杉 山 暢	(株)神戸製鋼所溶接棒事業部技術部
”	大 野 章	新日本製鉄(株)技術開発部
”	山 森 格之助	住友金属工業(株)技術開発調査部
”	渡 辺 孫 也	住友金属工業(株)技術開発調査部
”	岩 永 寛	住友金属工業(株)技術開発調査部
”	住 友 芳 夫	住友金属工業(株)第2製品技術部
”	中 西 睦 夫	住友金属工業(株)中央技術研究所
”	勝 本 憲 夫	住友金属工業(株)中央技術研究所
”	金 子 康 弘	日本鋼管(株)鉄鋼技術部
”	宮 部 隆	日本鋼管(株)鉄鋼技術部
”	生 駒 勉	日本鋼管(株)技術研究所
”	原 沢 秀 明	日本鋼管(株)技術研究所津研究所
”	小山内 真 二	(株)日本製鋼所技術管理部
”	島 崎 正 英	(株)日本製鋼所室蘭製作所研究部
”	岡 林 久 喜	石川島播磨重工業(株)溶接研究所
”	藤 城 能 教	川崎重工業(株)鉄鋼事業部野田工場
”	千 葉 尚 道	(株)栗本鉄工所住吉工場

委 員	岡 田 齊	(株)栗本鉄工所住吉工場
〃	松 浦 十四彦	(株)酒井鉄工所技術部
〃	桐 原 誠 信	(株)日立製作所日立研究所
〃	下 山 仁 一	三菱重工業(株)技術本部高砂研究所
〃	西 岡 章 夫	バブコック日立(株)呉研究所
〃	藤 井 忠 臣	日立造船(株)技術研究所

### 報告書編集ワーキング・グループ構成

	田 村 博	東京工業大学工学部生産機械工学科
○	小 林 卓 也	船舶技術研究所溶接工作部
	百合岡 信 孝	新日本製鉄(株)製品技術研究所
	岡 林 久 喜	石川島播磨重工業(株)溶接研究所
	寺 崎 俊 夫	九州工業大学材料工学科
	岩 井 健 治	(株)神戸製鋼所中央研究所

註) ○印はワーキング・グループ主査

# 目 次

1. 緒 言	6
1.1 本委員会の目的	6
1.2 本委員会の経過	6
2. 厚板多層溶接割れの調査研究（昭和55・56年度共同試験研究）	
2.1 概 要	8
2.2 供 試 材	8
2.2.1 鋼 材	8
2.2.2 溶接材料	9
2.3 試験方法	11
2.3.1 V開先拘束割れ試験	11
2.3.2 CTS 試験	11
2.3.3 U開先拘束割れ試験	11
2.3.4 予熱パス間温度	11
2.3.5 試験実施内容	13
2.3.6 割れの検査方法	13
2.3.7 試験記号	13
2.3.8 測定項目	15
2.4 試験結果	16
2.4.1 供試鋼の割れ防止限界予熱パス間温度 $T_0^*$	16
2.4.2 試験溶接部の最高硬さ	16
2.4.3 試験溶接部の100Cまでの冷却時間	16
2.4.4 ルート部及びトウ部の形状	16
2.5 考 察	27
2.5.1 割れの種類	27
2.5.2 供試鋼の割れ感受性と各試験法の割れ感度	27
2.5.3 割れ防止限界予熱パス間温度 $T_0^*$ と供試鋼の炭素当量	34
2.5.4 割れ防止限界予熱パス間温度 $T_0^*$ と供試鋼の化学成分	40
2.5.5 溶接金属の割れ感受性と各因子	40
2.5.6 V開先拘束割れ試験溶接部の応力集中率	45
2.5.7 そ の 他	46
2.6 多層溶接割れ試験法の標準化への提言	51
2.6.1 多層溶接割れ試験の実例	51

2.6.2	多層溶接割れ再現小型試験法に関する検討	51
2.6.3	多層溶接割れ再現小型試験法の試案	58
2.7	結 論	59
3.	多層溶接割れ標準試験法の検討（昭和57年度共同試験研究）	
3.1	概 要	60
3.2	積層法の検討	60
3.2.1	目 的	60
3.2.2	試験方法	60
3.2.3	試験結果	62
3.2.4	考 察	62
3.3	試験溶接ルート部溶込み形状の検討	64
3.3.1	目 的	64
3.3.2	試験方法	64
3.3.3	試験結果	65
3.3.4	考 察	65
3.4	多パス溶接熱サイクル再現のための試験片寸法の検討	71
3.4.1	目 的	71
3.4.2	試験方法	71
3.4.3	試験結果	72
3.4.4	考 察	77
3.5	結 論	80
4.	多層溶接割れ標準試験法の提案	82
5.	総 括	86
	参 考 文 献	86

# 1. 緒 言

## 1.1 本委員会の目的

我が国では鋼材の溶接割れ、特に調質高張力鋼の低温割れに関して多くの研究が行われてきた。そしてその研究成果は、JSSC溶接研究班(1972)の報告“鋼構造物における溶接割れ防止のための予熱条件の選定について”における割れ防止の考え方と、WES-3002A(1973)“溶接構造用高張力鋼板の溶接割れ感受性組成(PCM)に関する規格”における鋼材成分規則の考え方に反映されている。

以上の溶接割れ防止の考え方に基づく必要予熱温度が安全側に過ぎる(高過ぎる)と言う欧米諸国からの指摘にあるように、英国規格BS5135(1974)“炭素鋼及び炭素マンガン鋼のアーキ溶接規格”ならびに米国溶接学会規格AWS D1.1-81, Section IV, Part Aで算出される必要予熱温度は相当低い。この相違が調質鋼と非調質鋼の差によるものか、割れ評価試験法の違いによるものか明らかではないが、実施工に対しいずれがより合理的か調べる必要がある。又鋼材の割れ感受性を表す指標としてPCM値が、世界的に今なお用いられている炭素当量値に比べてより広い入熱範囲で且つ非調質鋼に対しても適切か否か必ずしも確認されたわけではない。

鋼材の溶接割れ試験としては、自拘束型や他拘束型を含めて多く知られているが、一般に試験が簡単であることを条件にしているので、実施工時の溶接割れを正確に再現し得ないことがある。最近、実施工に近い条件で行われた多層溶接割れ試験結果を一部参考にして、WES-3005(1977)“中・常温圧力容器用高強度鋼鋼板”の鋼材成分規制値が設けられたが、ここで引用された多層溶接割れ試験方法も含めてなお検討の余地がある。

以上の背景を踏まえて、調質鋼と非調質鋼を含めた各種鋼材の多層溶接割れ試験を行い、ルート割れ、トウ割れ、ビード下割れ及び溶接金属割れの発生状況を調べ、それらの割れ防止に必要な予熱パス間温度を総合的に求めることにより、合理的な溶接割れ防止と鋼材成分規制に対する考え方を確立するとともに、多層溶接割れ標準試験法を提案することを本委員会の目的とした。

## 1.2 本委員会の経過

まず準備会を経て委員会が構成され、昭和54年7月24日に開催された第1回委員会において今後の活動方針として次の事項が協議決定された。

- (1) 多層溶接割れ試験法原案作成作業とそのための共同試験研究。
- (2) 多層溶接割れに関する研究報告又は文献紹介による勉強会並びに文献調査及び総合レビューの作成。

以上のうち昭和54年度では主として(2)の勉強会及び文献調査並びに次年度実施予定の共同試験研究の準備作業を、又昭和55,56及び57年度では共同試験研究の実施を中心に委員会の運営が行われた。それらの経過は以下のとおりである。

### (1) 文献調査研究

多層溶接割れに関する多数の研究報告及び文献紹介とこれらに対する活発な質疑が行われ、共同試験研究を進める上で必要な数多くの情報を得た。その主なものを以下に示す。

- イ) 厚板多層溶接金属の横割れ防止<sup>1)~11)</sup>
- ロ) 多層溶接熱影響部割れとその評価法<sup>2), 12)~17)</sup>
- ハ) 多層溶接部における水素の挙動と残留水素濃度<sup>2), 6)~9), 18)~23)</sup>
- ニ) 厚板多層溶接部における残留応力分布とその測定法<sup>6), 22), 24)~27)</sup>
- ホ) 関連規格その他<sup>28)~30)</sup>

なおこれと並行して過去約10年間にわたって多層溶接割れに関する内外文献の調査を行い、その成果を上記ハ)に関する取りまとめ報告と共に、鉄鋼部会第5回溶接構造用鋼板に関する研究発表会(昭和56年2月)に発表した<sup>31), 32)</sup>。

## (2) 共同試験研究

昭和55・56年度において下記の計画に基づく共同試験研究のための実験が委員会社で分担実施された(表6参照)。実験内容としては、調質鋼と非調質鋼を含めた各種鋼材(標準板厚75mm)を用い、WES 3005の鋼種認定試験方法に引用された多層溶接継手の低温割れ試験方法を中心に、これにルートパスレ開先拘束割れ試験及び英国規格(BS)にあるCTS試験を比較に加えた各種溶接割れ試験を行い、ルート割れ、トウ割れ、ビード下割れ及び溶接金属割れの発生状況を調べた。

以上の結果から、ルート割れをはじめ各種割れ防止に必要な限界予熱パス間温度を総合的に求めることにより、合理的な溶接割れ防止と鋼材成分規制に対する考え方をまとめ、これらを踏まえて多層溶接割れ試験法の標準化への提言を行った。

昭和57年度においては、多層溶接割れ標準試験法を具体的に提案することを目的として、昭和56年度までの共同試験研究結果に基づいて提案されたレ開先拘束割れ試験について、開先形状、積層方法、溶接姿勢及び多パス溶接熱サイクルと試験片寸法に関する実験を行った。それらの結果並びに昭和56年度までの共同試験研究結果に基づいて、多層溶接割れ標準試験法を提案した。

## (3) 自主研究

本共同試験研究と別に多層溶接割れ試験方法の標準化に必要な補足的実験として

- イ) 水素及び残留応力分布に及ぼす板厚を含めた試験片寸法及び溶接ビード積層厚の影響
- ロ) 止端部の応力集中効果に及ぼす試験片形状及び溶接パス数の影響
- ハ) 多層溶接割れ再現小型試験体の多パス溶接熱サイクルの検討
- ニ) トウ割れ再現試験法の検討

などが提案され<sup>33)~38)</sup>、一部自主研究として実施された。

## (4) 総合報告書編集

共同試験研究の進捗と共に、昭和56年度に総合報告書編集のためのワーキンググループを設置し、総合報告書(案)の作成作業を行った。同報告書(案)は引続き開催された本委員会での内容が審議されたのち正式の報告書となり、昭和58年3月をもって委員会目的が達成された。