

326 溶接部残留応力測定に関する測定ガイドラインの提案

三菱重工業(株) ○栗村 隆之 (株)東芝 小畑 稔 (株)日立製作所 大城戸 忍

A Proposal of guideline on Residual Stress Measurement of Weld Section

Takayuki KURIMURA, Minoru OBATA and Shinobu OHKIDO

1 はじめに

大型構造物などで溶接時の熱履歴に起因して発生する残留応力は破壊・変形の両者に対して、重要な要因となるため、溶接部の精度の良い残留応力測定技術が求められている。X線回折法が最も有効な非破壊的測定手段と考えられるが、溶接部の測定値は、熱履歴による材質変化や形状変化に起因したばらつきが生じることが知られており、その精度向上・信頼性向上が望まれている。

日本材料学会X線材料強度部門委員会では溶接部残留応力測定小委員会(略称:溶接部小委員会)を設立し、共同研究グループによる従来システムを用いた溶接部残留応力ラウンドロビン試験(2回実施)、高輝度放射光・中性子回折・ひずみ開放法による測定、および応力解析を実施し、溶接部残留応力測定ガイドライン案を策定した。今回、策定した溶接部残留応力測定ガイドラインに付いて詳細を報告する。

2 溶接部小委員会活動状況

X線材料強度部門委員会委員で編成された共同研究グループを表1に示す。一部委員交代はあったが、24名で活動した。

Table 1. Weld section sub-committee member

	氏名	所属
委員長	栗村隆之	三菱重工
幹事	小畑稔	東芝
同上	大城戸忍	日立
メンバー	秋田貢一	武工大
同上	秋庭義明	名大
同上	伊藤登史政	デンソー
同上	大谷眞一	武工大
同上	小木曾克彦	ジャクセル
同上	小栗泰造	大阪府立産技研
同上	神長 宇享	株式会社リガク
同上	日下一也	徳島大
同上	坂井田喜久	静岡大
同上	佐々木敏彦	金沢大
同上	佐藤嘉洋	大阪市大
同上	柴野純一	北見工大
同上	菖蒲敬久	原研放射光
同上	鈴木賢治	新潟大
同上	鈴木裕士	原研
同上	坪内千明	神工試
同上	西田真之	神戸高専
同上	三上 剛	JTEKT
同上	皆川宣明	アドバンスト・マシン工房
同上	望月正人	大阪大学
同上	八代浩二	山梨工技セ

小委員会活動のメインの位置付けであるラウンドロビン試験を、フェライト系の SM570 とオーステナイト系の SUS304 を対象に実施した。実構造では突合せ溶接継手やすみ肉溶接構造が考えられるが、測定時において光学系の制限が少ない突合せ溶接継手を評価対象とすることとした。実際には板素材にU溝加工を施し、U溝部に溶接施工することとした。実構造溶接部の形態を考慮して、素材圧延方向に直角に溶接線方向を取った。厚さ以外の継手寸法はラウンドロビン参加機関における測定装置の制限を鑑み、また、残留応力の開放を極力抑える事を考慮し、溶接線方向幅 100mm、溶接線直角方向幅 100mmとした。

表2にラウンドロビン試験参加機関および測定ローテーションを示す。SM570 と SUS304 の継手をセットとし、3セットで研究室レベルのX線装置による測定、中性子(原子力機構)、放射光(SPring-8)による測定を実施した。中性子測定において必要な d_0 測定試験片加工時に、ひずみゲージにより開放ひずみも測定した。デンソーでは SM570、SUS304 両溶接継手の極点図測定、大阪大学にて残留応力の FEM 解析による評価も実施した。

Table 2. Rotation of round robin test

Period	Set #1	Set #2	Set #3
①	東芝	日立	産技研
②	山梨工技	——	——
③	静岡大	新潟大	武工大
④	名大	大阪市大	徳島大
⑤	リガク	金沢大	神工試
⑥	北見工大	デンソー	神戸高専
⑦	JTEKT	原子力機構	SPring-8

3 溶接試験片の製作

溶接継手は SM570 (圧延方向 100mm×圧延直角方向 345mm、厚さ 10mm) および SUS304 (圧延方向 100mm×圧延直角方向 250mm、厚さ 15mm) 平板各 2 枚にエンドミルにて幅 6mm、深さ 7mm の U 溝加工を施し、半自動 TIG 溶接で多層盛ることにより作成した。溶加材には YGT60 および Y308 ワイヤをそれぞれ使用した。SM570 は 150℃の予熱を行い、6パスの溶接を行った。SUS304 は 5 パス(継手 1) および 6 パス(継手 2) の溶接を行った。

溶接ビードの仕上げ加工は行わず、各継手から 100mm×100mm の試験片を各 2 体採取し、それぞれの材料で作成した 4 体の試験片の内 3 体を残留応力測定に供した。残りの 1 体は中性子測定において必要な d_0 測定用に切断した。

4 残留応力評価結果

測定条件や手順に規定を設けなかった表2の1回目ラウンドロビン試験結果を整理して、推奨できる測定条件・手順を残留応力測定のガイドライン案として設定し、日立、リガク、山梨工技、神戸高専、大阪市大、金沢大の6機関で表2のセット2の供試体を用いて2回目のラウンドロビン試験を実施した。2回目のラウンドロビン試験では各機関の測定精度も参考にするため α -Fe粉末、HT80およびSUS316のショットピーニング材も測定し、各機関の測定値を比較、検討した。図1に α -Fe粉末とHT80ショットピーニング材の測定結果を示す。

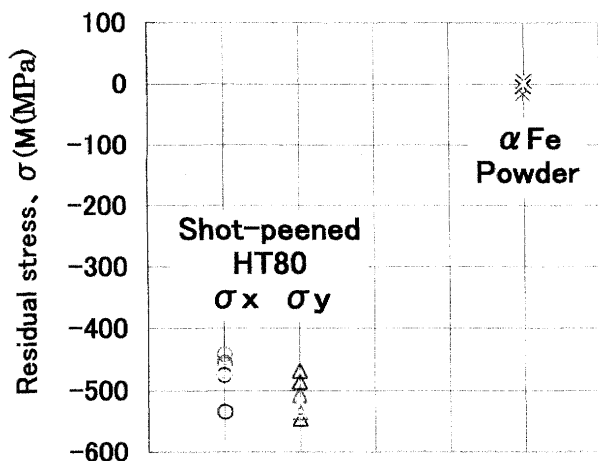


Fig.1 Residual stress in α -Fe and shot-peened HT80.

2回目のラウンドロビン試験結果の考察を以下に示す。

- (1) α -Fe粉末サンプルの測定結果は測定値のばらつきも少なく、各機関の装置の検証はできているといえる。
- (2) ショットピーニング材の測定結果の各機関での相互の誤差は ± 50 MPa程度であり、現状のガイドラインで測定すればこの程度の誤差で測定できる。
- (3) SUS304、SM570の継ぎ手材ではともに残留応力分布の傾向はとらえることができています。
- (4) ばらつきが大きい部分は溶接金属部では測定時の揺動手順の差、母材部は粗粒によるものと考えられる。
- (5) 今回提示するガイドラインは以上のような測定レベルであるが、さらに測定精度を向上するためには下記の点に注意を要すると思われる。
 - ① 材料や測定箇所によっては揺動が必要で、揺動の手順の最適化を行う。
 - ② 回折強度によってはサンプリング間隔に注意を払う必要があり、HVBの1/5～1/10のサンプリング間隔が目安となる。
 - ③ PSPCではセッティング高さの誤差による影響が大きい。

5 まとめ

平成16年度より5ヵ年の計画でX線材料強度部門委員会に設立された溶接部残留応力測定小委員会(略称:溶接部小委員会)でラウンドロビン試験を柱とした検討を行った。その結果に基づき、溶接部残留応力測定に関して以下のガイドラインを案として提案する。

ガイドライン案

特性X線、管電圧、管電流、回折面、測定機器:

限定しない、ただし、ガイドラインにはそれぞれの管球の特徴を記す。また、回折面は管球によって異なる。

ピーク決定法:

基本的なピーク位置決定法は半幅中点法とする。しかし、測定者は測定された回折曲線を確認し、 $K\alpha_1$ 、 $K\alpha_2$ の分離が見られる場合には $K\alpha_2$ を分離する。 $K\alpha_2$ 分離が困難な場合には、ピークトップ法で評価する。ただし、ピークトップ法でピーク位置を評価する場合には、ピーク位置決定のためのデータが十分であることを確認し、必要に応じて測定条件を再考する。

測定法:

シンチレーションカウンターにソーラスリットを取り付けた ψ 一定法が、粗い結晶粒、集合組織に対して精度が良いことから、溶接部の残留応力測定法として望ましい方法である。PSPCを用いた測定も良いが、その場合には試験片マスクキングによる照射領域を決定するとX線焦点位置、マスクキングの中心の誤差が測定結果に大きな影響をおよぼすためマスクキングを用いないことが望ましい。

$\sin^2\psi$ が0～0.6の間で等間隔で5点以上の測定が望ましいが、著しい集合組織が形成されている場合には、その状況に応じてできるだけ広い範囲で測定することが望ましい。

揺動法:

ψ 揺動を採用する場合には ± 3 deg程度とすることが望ましいが、各X線入射角度毎に大きくしても良い。ただし、 ψ 角方向と直行する方向に揺動することにより $\sin^2\psi$ 線図の平均化を防ぐことが望ましい。

溶接ビード部の測定:

照射中心表面に対し垂直方向を $\psi_0=0$ degとする。そのセッティングは目視による設定でも可とする。

角変形の対処:

照射中心表面に対して垂直方向を $\psi_0=0$ degとする。そのセッティングは目視による設定でも可とする。

計測時間:

プロファイルが明確になる程度のPB比となるように設定する。鉄鋼標準に準拠してバックグラウンドを除いたピーク強度が1000countになるように設定することが望ましい。

上記ガイドライン案に関しては、X線材料強度部門委員会などで更に議論、改訂を進めX線応力測定標準の次回改訂時に溶接部残留応力測定に関するガイドラインとして含めていく計画である。各メンバーおよび参加機関の協力に感謝する。