

試験名

254 SMO[®] (6-moly) ステンレス鋼製 Swagelok[®] チューブ継手を取り付けた、スーパー・オーステナイト系 254 SMO (6-moly) ステンレス鋼チューブの回転曲げ試験

試験対象製品

サンプル数	254 SMO ステンレス鋼 チューブ・サイズ (外径×肉厚)	チューブの 硬度 (HRB)	エンド・コネクション・ タイプ(型番)	最高使用圧力 ^① (MPa)
16	1/4 インチ× 0.71 mm	89	おすコネクター 254-400-1-4	37.2
16	1/2 インチ× 0.89 mm	89	おすコネクター 254-810-1-4	24.1

① ASTM A213 準拠のチューブ(金属温度範囲: -28~37°C)の最高使用圧力は、ASME B31.1 で規定している S 値 (186.7 MPa) から算定したものです。

試験目的

実験室条件下にて上記アセンブリの試験を行い、さまざまなレベルの繰り返し曲げ応力を加えた 254 SMO ステンレス鋼チューブに取り付けた際の、254 SMO ステンレス鋼製チューブ継手の疲労耐性を調べる。

試験条件

- 試験に用いるサンプルの構成として、チューブ 1 本につき、チューブ継手 1 個を使用した。スウェッジロックの取り付け手順に従い、継手を取り付けた。
- 試験は室温にて行った。

試験方法

チューブ硬度の測定:

- ユナイテッド硬さ試験機(15-T スケール、1/16 インチ・サイズの球圧子)を使用して、各チューブに対し、5 箇所(等間隔)で圧痕深さを測定した。
- 5 箇所での測定結果の平均値を記録した。
- ウィルソン・チャート #53 曲面換算表を使用して、チューブ曲面の硬度を平面の硬度に換算した。
- ASTM E140 表 6 - オーステナイト系ステンレス鋼の硬度換算表を使用して、15-T 読み取り値を HRB 値に換算した。

回転曲げ試験:

回転曲げ振動試験は、SAE-ARP-1185 に基づいている。ハイドロリック・オイルを用いてチューブの最高使用圧力まで加圧し、継手の接続部分に繰り返し曲げ応力をかける。継手からの漏れ、チューブの破壊、あるいは 1,000 万回以上の回転サイクル数の達成のいずれかに至った時点で試験を終了した。

ASME Pressure Vessel and Piping, volume 62 (ASME PVP-62)は、最大振幅 0.2 $\mu\text{m}/\text{mm}$ のたわみの繰り返し応力を与える振動が、頻発する配管システムの故障の原因であると報告している。254 SMO ステンレス鋼チューブの場合、0.2 $\mu\text{m}/\text{mm}$ の応力レベルは、繰り返し応力 2 900 $\text{lb}/\text{in.}^2$ (19.9 MPa) に換算される。また ASME PVP-62 には、現場での配管システム測定データによると、1,000 万サイクルを超えた場合、無限のライフ・サイクルを持つとも言えることも記載されている。

ASME BPV Code, Section III NC-3673 には、さまざまなタイプの継手の応力集中係数が記載されている。例えば、突き合わせ溶接は $i = 1.0$ 、差し込み溶接は $i = 1.3 \sim 1.9$ 、ろう接継手は $i = 2.1$ 、パイプ継手は $i = 2.3$ である。応力強度ライン [$i = 1.0, 1.3, 2.3$ (グラフ上に記載)] は、254 SMO ステンレス鋼チューブの疲労曲げ試験に基づいており、ラインによって他の継手タイプとの目視比較ができるようにした。このラインは、ASME B31J Code, Standard Test Method for Determining Stress Intensification Factors (i -Factors) for Metallic Piping Components for Metallic Piping Components に記載されている公式 3 および 5a によって定義されている。

$$\text{公式 3: } i = C/S(N)^b$$

ここで、

- b = 材質指数 (金属の場合: 0.2)
- C = 材料定数 (炭素鋼製試験片の場合: 245,000 psi)
- i = 応力集中係数
- N = 故障が発生するまでのサイクル数
- S = 漏れが生じた時点での公称応力振幅 ($\text{lb}/\text{in.}^2$)

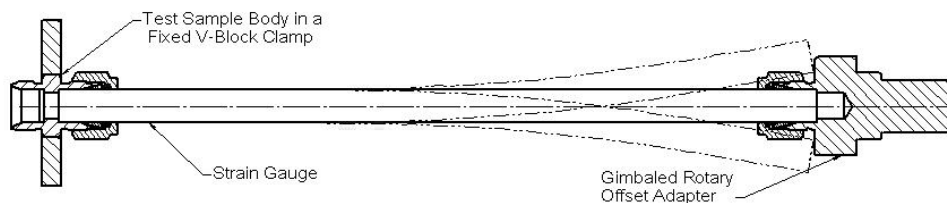
$$\text{公式 5a: } C(\text{その他の材質}) = 245,000 \times E(\text{その他の材質}) / 27,800,000 \text{ psi}$$

ここで、

- C = 材料定数、公式 3 (psi) 用
- E = 弾性係数 (psi)、254 SMO 用

試験手順

1. 各サンプルを、回転曲げ試験台にセットした。下の図を参照のこと。



2. 各サンプルに、ジンバルによって回転オフセットを生じさせ、曲げ応力をかけた。曲げ応力値は、応力値 / サイクル数 (S/N) グラフ作成のため選定した。これらの応力値は、高加速寿命試験手順に従っているが、特定の用途を示唆するものではない。

3. チューブへの交互曲げ応力は、実際に計測したチューブの曲げ応力(最大振幅曲げ範囲の 1/2)から算出した。

繰り返し曲げ応力 (公称値) ^① (MPa)	サンプル数
172.2	8
137.8	8
103.3	8
68.9	8
合計	32

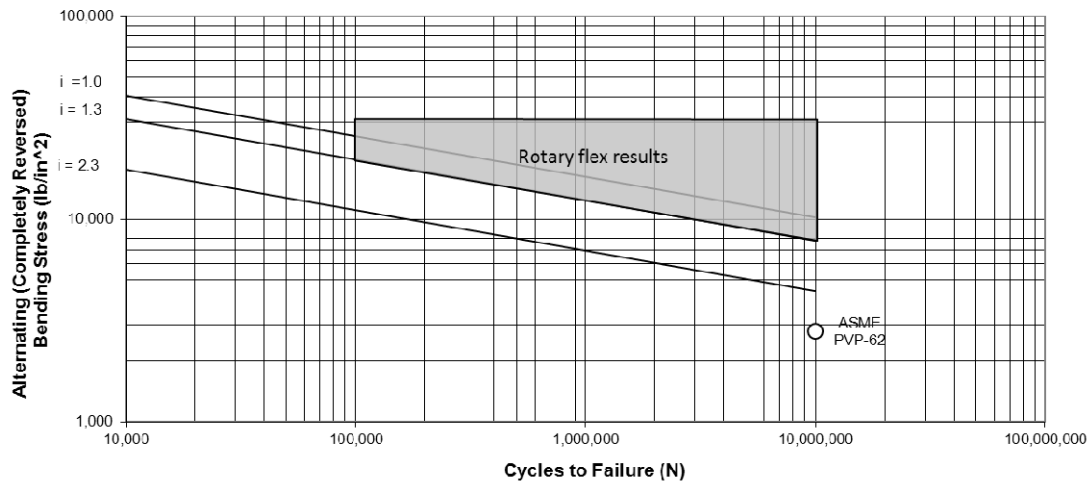
① 応力:ゼロ点から最大まで

4. ハイドロリック・オイルを用いて、チューブの最高使用圧力までサンプルを加圧し、1750 rpm を上回る速度で回転させた。
5. 継手からの漏れ、チューブの破壊、あるいは 1,000 万回の回転サイクル数の達成のいずれかに至った時点で試験を終了した。継手に漏れが生じた場合、あるいはチューブに疲労破壊が生じた場合には、インライン型圧カトランスデューサーがそれを検知し、試験を停止した。
6. 曲げ応力/サイクル数(S/N)グラフをデータから作成し、結果を前述の ASME ベースのデータと比較した。
7. 試験実施中漏れを検出せず、また与えられた曲げ応力に対する継手部の応力集中係数を $i = 1.3$ と想定して予想サイクル数の基準に適合、もしくはそれ以上の水準に達した場合、サンプルが回転曲げ試験に合格したと判断した。

試験結果

- 試験を通して、継手の漏れは検出されなかった。チューブに破壊が生じた場合、あるいは回転サイクル数が 1,000 万回を超えた時点で試験を停止した。
- 次ページの S/N グラフにおける影の部分は、回転試験のデータを含んでいる。この影の部分は、回転サイクル数が 1,000 万回の時点で途切れているが、これは漏れが発生しなくても、回転サイクル数が 1,000 万回に達した時点で、試験方法に従って試験を終了したためである。
- 繰り返し応力 2900 lb/in.² (19.9 MPa) と回転サイクル数 1,000 万回が交差する点が、ASME PVP-62 が求めているポイントである。
- 254 SMO ステンレス鋼製 Swagelok チューブ継手は、ASME PVP-62 の推奨上限を大幅に上回る繰り返し応力に対しても、254 SMO ステンレス鋼チューブの早期破損を防ぎ、漏れのない状態を保った。継手は、サイクル数 1,000 万回時点で、ASME BPV Code Section III, NC-3673 に定義された応力集中係数 $i=1.3$ を上回る値においても耐性を示したため、回転曲げ試験に合格と判断した。

Rotary Flex for 254 SMO Tubing on 254 Swagelok Tube Fittings



本試験は、製品の推奨される使用条件を超えて行われたものです。製品カタログなどに記載されている仕様を超えて使用しないでください。

特定の用途を想定した試験ではありません。今回の試験は、製品カタログ等に記載されている特定の圧力および温度下における製品の使用の妥当性を検証するために行ったものです。この圧力および温度の範囲を超える場合は無効です。また、実験室で行った試験のため、実際の使用条件を再現しているものではありません。材質の適合性については、今回の試験では調査していません。

安全な製品の選定について

安全にトラブルなく機能するよう、システム全体の設計を考慮して、製品をご選定ください。機能、材質の適合性、数値データなどを考慮し製品を選定すること、また、適切な取り付け、操作およびメンテナンスを行うのは、システム設計者およびユーザーの責任ですので、十分にご注意ください。



製品テスト・レポート

Swagelok Company
29500 Solon Road.
Solon, Ohio 44139 U.S.A.

PTR-3262
Rev. -
October 2012
Page 5 of 5

参考文献

Wilson Cylindrical Correction Chart # 53, Wilson Instrument Division, 929 Connecticut Avenue, Bridgeport, CT 06602

ASTM E140, *Table 6—Approximate Hardness Conversion Numbers for Austenitic SS*, ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, P.O. Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2858

ASME B31.1, *Power Piping*, The American Society of Mechanical Engineers, Three Park Avenue, New York, NY 10016-5590

ASME B31.3, *Process Piping*, The American Society of Mechanical Engineers, Three Park Avenue, New York, NY 10016-5590

ASTM A312, *Standard Specification for Seamless Ferritic and Austenitic Alloy-Steel Boiler, Superheater, and Heat-Exchanger Tubes*, ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428

ASME Pressure Vessel and Piping (PVP), Vol. 62, 1982, and ASME Boiler and Pressure Vessel (BPV) Code, Section III, 2007, ASME International, Three Park Avenue, New York, NY 10016-5990,
www.asme.org

ASME B31J-2008, *Standard Test Method for Determining Stress Intensification Factors (i-Factors) for Metallic Piping Components*, The American Society of Mechanical Engineers, New York, NY 10016-5990

SAE-ARP-1185, *Flexure Testing of Hydraulic Tubing Joints and Fittings*, SAE International, 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA 15096

この日本語版製品テスト・レポートは、英語版製品テスト・レポートの内容を忠実に反映することを目的に、製作いたしました。日本語版の内容に英語版との相違が生じないよう、細心の注意を払っておりますが、万が一相違が生じてしまった場合には、英語版の内容が優先されますので、ご注意ください。