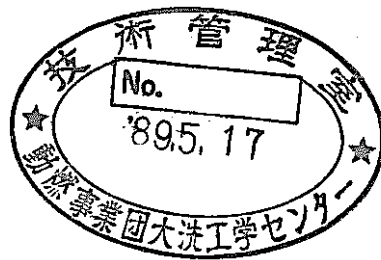


溶接部高温強度データの拡充試験（Ⅲ） および9Cr系鋼異材継手の高温強度試験（Ⅰ）

（動力炉・核燃料開発事業団 委託研究成果報告書）



1988年1月

技術資料コード	
開示区分	レポートNo.
T	J9055 88-001
この資料は 図書室保存資料です 閲覧には技術資料閲覧票が必要です	
動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センター技術管理室	

川崎重工業株式会社

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせください。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター システム開発推進部・技術管理室

Enquires about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section O-arai Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 4002 Narita-cho, O-arai-machi, Higashi-Ibaraki, Ibaraki-ken, 311-13, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation)

溶接部高温強度データの拡充試験－(Ⅲ) および
9Cr系鋼異材継手の高温強度試験(Ⅰ)*
成果報告書

長渡甲太郎** 村上孝士** 橋本俊行**
徳満正司** 小畑清和**

要 旨

高速炉構造材料SUS304鋼板に関してEB溶接金属の基本材料特性を把握するため、高温引張試験、クリープ試験および高温疲労試験、また、9Cr系鋼板2鋼種に関して、SUS304鋼との異材継手評価のため、母材および異材継手について高温引張試験、クリープ試験を実施し、次の結果が得られた。

- SUS304鋼板EB溶接金属は母材に比して、0.2%耐力では高目、引張強さでは同等かやや低目であり、破断伸びおよび絞り値は低目の値を示す。また、クリープ破断強度は母材に比して若干下回っている。
- Mod. 9Cr-1Mo鋼板材は9Cr-1MoVNb鋼板材に比べ、引張強度は若干高いが、引張破断延性は小さい。また、基準値の S_y 値および S_u 値と比較すると、前者は若干高目の値を示すが、後者は同等か若干高目の値を示す。
- Mod. 9Cr-1Mo鋼板は9Cr-1MoVNb鋼板に比べ、クリープ破断強度は高いが、クリープ破断延性は小さい。また基準値の S_R 値と比較すると、前者は同等か若干上回るが、後者は同等か若干低目の値を示している。
- SUS304/Mod. 9Cr-1Mo異材継手の引張試験における破断位置は高温でSUS304鋼部である。一方、SUS304/9Cr-1MoVNb異材継手の破断位置は500℃でSUS304鋼部、550℃で9Cr-1MoVNb鋼部である。

*本試験は川崎重工業(株)が動力炉核燃料開発事業団の委託により実施した研究の成果である。

契約番号 620D011

事業団担当部課室および担当者：機器構造開発部 材料開発室 二瓶 勲

**川崎重工業株式会社原子力本部

Tests to Accumulate the High Temperature Strength Data of FBR
Structural Material Welds-(II) and High Temperature Strength
Tests for 9Cr steel Dissimilar Welded Joint*

Kohtaro Nagato**, Takashi Murakami**
Toshiyuki Hahimoto**, Shoji Tokumitsu
Kiyokazu Kobatake**

A b s t r a c t

Material testing for SUS304 EB welded joint and 9Cr steel Dissimilar welded joint were conducted, and the following results were obtained.

- 0.2% Proof stress of SUS304 EB weld Metal is higher than that of base metal, while the ultimate tensile strength of the weld metal is same or lower than that of base metal ductility of the weld metal is lower than of that of base metal, and Creep rupture strength is somewhat lower than that of base metal.
- Tensile strength of Mod.9Cr-1Mo steel plate is a little higher than that of 9Cr-1MoVNB steel plate, while the tensile ductility is low, and 0.2% Proof stress and ultimate tensile strength are a little higher than S_y and S_u design values, while the 9Cr-1MoVNB steel plate is same or somewhat lower than those values.
- Creep rupture strength of Mod.9Cr-1Mo steel plate is higher than that of 9Cr-1MoVNB steel plate, while the fracture elongation is low, and Creep rupture Strength shows a exceeding tendency in comparison of the S_R design values, while that of 9Cr-1MoVNB steel plate is same or somewhat lower than that values.
- Ultimate tensile strength of SUS304/Mod.9Cr-1Mo dissimilar welded joint is almost equal to that of SUS304 base metal and fractured positions are in the SUS304 base metal at all temperature conditions. In case of SUS304/9Cr-1MoVNB dissimilar welded joint, fractured positions are in the SUS304 base metal at 500 °C and in the 9Cr-1MoVNB base metal at 550 °C.

*This test was performed under the contract with PNC
PNC Liaison ; Materials Development Section Systems and Components
Division Isao Nihei

**Nuclear Systems Division, KHI

目 次

要 旨	.....	i
表 リ ス ト	.....	v
図 リ ス ト	.....	ix
写真リスト	.....	xxiv
1. 緒 言	.....	1
2. 試験研究の概要	.....	2
2. 1 試験研究の範囲	.....	2
2. 2 試験研究結果の概要	.....	2
3. 供試材料	.....	5
3. 1 E B 溶接金属および継手試験用供試材	.....	5
3. 2 9 C r 系鋼板母材試験用供試材	.....	5
3. 3 S U S 3 0 4 鋼 - 9 C r 系鋼異材継手試験用供試材	.....	5
4. 試験方法	.....	17
4. 1 試験片採取要領	.....	17
4. 2 試験片形状および寸法	.....	17
4. 3 試験機仕様	.....	17
4. 4 試験要領	.....	18
5. S U S 3 0 4 鋼板 E B 溶接金属の基本材料特性試験結果	.....	29
5. 1 高温引張試験結果	.....	29
5. 2 クリープ試験結果	.....	40
5. 3 高温疲労試験結果	.....	61
6. 9 C r 系鋼板の引張およびクリープ試験結果	.....	78
6. 1 高温引張試験結果	.....	78
6. 2 クリープ試験結果	.....	91

7.	SUS304鋼-9Cr系鋼異材継手の高温強度試験	106
7.1	高温引張試験結果	106
7.2	クリープ試験結果	118
8.	溶接金属の長時間クリープ継続試験結果について	121
9.	結 言	155
	参考文献	156
	FBR金属材料試験計画表	157

表リスト (1)

2章

表 2.1	試験研究の範囲一覧
Table2.1	Schedule of Present Test

3章

表 3.1	SUS304 鋼板材の製造仕様概要
Table3.1	Summary of Manufacturing Specifications for SUS304 Steel Plate
表 3.2	SUS304 鋼板材 (ヒート No.D52477102) の確性試験結果
Table3.2	Certification Test Results of SUS304 Steel Plate (Heat No.D52477102)
表 3.3	EB 溶接施工条件
Table3.3	EB Welding Conditions
表 3.4	Mod.9Cr-1Mo 鋼板材 (ヒート No.O27008-6) の確性試験結果
Table3.4	Certification Test Results of Mod.9Cr-1Mo Steel Plate (Heat No.O27008-6)
表 3.5	9Cr-1MoVNb 鋼板材 (ヒート No.JG882-19-8333) の確性試験結果
Table3.5	Certification Test Results of 9Cr-1MoVNb Steel Plate (Heat No.JG882-19-8333)
表 3.6	溶接材料の化学成分
Table3.6	Chemical Composition of Welding Material

表リスト (2)

表 3.7 異材溶接施工条件

Table 3.7 Dissimilar Welding Conditions

4章

表 4.1 引張試験機仕様

Table 4.1 Specifications of Tensile Testing Machines

表 4.2 クリープ試験機仕様

Table 4.2 Specifications of Creep Testing Machines

表 4.3 疲労試験機仕様

Table 4.3 Specifications of Fatigue Testing Machines

5章

表 5.1 引張試験結果

Table 5.1 Results of Tensile Tests

表 5.2 クリープ試験結果 (1/3), (2/3), (3/3)

Table 5.2 Results of Creep Tests (1/3), (2/3), (3/3)

表 5.3 低サイクル疲労試験結果 (1/3), (2/3), (3/3)

Table 5.3 Results of Low Cycle Fatigue Tests (1/3), (2/3), (3/3)

6章

表 6.1 引張試験結果

Table 6.1 Results of Tensile Tests

表リスト (3)

表 6.2 引張試験結果
Table6.2 Results of Tensile Tests

表 6.3 クリープ試験結果
Table6.3 Results of Creep Tests

表 6.4 クリープ試験結果
Table6.4 Results of Creep Tests

7 章

表 7.1 引張試験結果
Table7.1 Results of Tensile Tests

表 7.2 引張試験結果
Table7.2 Results of Tensile Tests

表 7.3 クリープ試験結果
Table7.3 Results of Creep Tests

表 7.4 クリープ試験結果
Table7.4 Results of Creep Tests

8 章

表 8.1 クリープ試験結果
Table8.1 Results of Creep Tests

表 8.2 クリープ試験結果
Table8.2 Results of Creep Tests

表リスト (4)

表 8.3	クリープ試験結果
Table 8.3	Results of Creep Tests

図リスト (1)

3章

図 3.1 SUS304 鋼板材の製造工程
Fig.3.1 Manufacturing Process of SUS304 Steel Plate

図 3.2 Mod.9Cr-1Mo 鋼板および 9Cr-1MoVNb 鋼板の後熱処理条件
Fig.3.2 Post-weld Heat Treatment Conditions of Mod.9Cr-1Mo
Steel Plate and 9Cr-1MoVNb Steel Plate

4章

図 4.1 EB 溶接金属試験片の採取方向
Fig.4.1 Allocation of Test Specimens in EB Welded Plate

図 4.2 EB 溶接継手試験片の採取方向
Fig.4.2 Allocation of Test Specimens in EB Welded Plate

図 4.3 EB 溶接金属試験片の形状と寸法 (1/2),(2/2)
Fig.4.3 Shape and Size of Test Specimen for EB Weld Metal
(1/2),(2/2)

図 4.4 EB 溶接継手試験片の形状と寸法
Fig.4.4 Shape and Size of Test Specimen for EB Welded Joint

図 4.5 引張試験片の形状と寸法
Fig.4.5 Shape and Size of Tensile Test Specimen

図 4.6 クリーブ試験片の形状と寸法
Fig.4.6 Shape and Size of Creep Test Specimen

図リスト (2)

- 図 4.7 異材継手引張試験片の形状と寸法
Fig.4.7 Shape and Size of Test Specimen for Dissimilar Welded Joint

5章

- 図 5.1 SUS304EB 溶接金属の 0.2% 耐力
Fig.5.1 0.2% Offset Yield Strength for SUS304 EB Weld Metal
- 図 5.2 SUS304EB 溶接金属の引張強さ
Fig.5.2 Ultimate Tensile Strength for SUS304 EB Weld Metal
- 図 5.3 SUS304EB 溶接金属の引張破断伸び
Fig.5.3 Fracture Elongation for SUS304 EB Weld Metal
- 図 5.4 SUS304EB 溶接金属の引張破断絞り
Fig.5.4 Reduction of Area for SUS304 EB Weld Metal
- 図 5.5 室温における SUS304EB 溶接金属の真応力 - 真ひずみ特性
Fig.5.5 True Stress-True Strain Curves at R.T for SUS304 EB Weld Metal
- 図 5.6 500℃ における SUS304EB 溶接金属の真応力 - 真ひずみ特性
Fig.5.6 True Stress-True Strain Curves at 500℃ for SUS304 EB Weld Metal
- 図 5.7 550℃ における SUS304EB 溶接金属の真応力 - 真ひずみ特性
Fig.5.7 True Stress-True Strain Curves at 550℃ for SUS304 EB Weld Metal

図リスト (3)

- 図 5.8 600℃における SUS304EB 溶接金属の真応力 - 真ひずみ特性
Fig.5.8 True Stress-True Strain Curves at 600℃ for SUS304
EB Weld Metal
- 図 5.9 500℃における SUS304EB 溶接金属のクリープ曲線
Fig.5.9 Creep Curves at 500℃ for SUS304 EB Weld Metal
- 図 5.10 550℃における SUS304EB 溶接金属のクリープ曲線
Fig.5.10 Creep Curves at 550℃ for SUS304 EB Weld Metal
- 図 5.11 600℃における SUS304EB 溶接金属のクリープ曲線
Fig.5.11 Creep Curves at 600℃ for SUS304 EB Weld Metal
- 図 5.12 500℃における SUS304EB 溶接金属のクリープ曲線
Fig.5.12 Creep Curves at 500℃ for SUS304 EB Weld Metal
- 図 5.13 550℃における SUS304EB 溶接金属のクリープ曲線
Fig.5.13 Creep Curves at 550℃ for SUS304 EB Weld Metal
- 図 5.14 600℃における SUS304EB 溶接金属のクリープ曲線
Fig.5.14 Creep Curves at 600℃ for SUS304 EB Weld Metal
- 図 5.15 500℃における SUS304EB 溶接金属のクリープ破断時間
Fig.5.15 Creep Rupture Time at 500℃ for SUS304 EB Weld Metal
- 図 5.16 550℃における SUS304EB 溶接金属のクリープ破断時間
Fig.5.16 Creep Rupture Time at 550℃ for SUS304 EB Weld Metal

図リスト (4)

- 図 5.17 600℃における SUS304EB 溶接金属のクリープ破断時間
Fig.5.17 Creep Rupture Time at 600℃ for SUS304 EB Weld Metal
- 図 5.18 500℃における SUS304EB 溶接金属の応力と定常クリープ速度の関係
Fig.5.18 Relation between Stress and Steady Creep Rate at
 500℃ for SUS304 EB Weld Metal
- 図 5.19 550℃における SUS304EB 溶接金属の応力と定常クリープ速度の関係
Fig.5.19 Relation between Stress and Steady Creep Rate at
 550℃ for SUS304 EB Weld Metal
- 図 5.20 600℃における SUS304EB 溶接金属の応力と定常クリープ速度の関係
Fig.5.20 Relation between Stress and Steady Creep Rate at
 600℃ for SUS304 EB Weld Metal
- 図 5.21 500℃における SUS304EB 溶接金属の破断伸びと破断時間の関係
Fig.5.21 Relation between Fracture Elongation and Time to
 Rupture at 500℃ for SUS304 EB Weld Metal
- 図 5.22 550℃における SUS304EB 溶接金属の破断伸びと破断時間の関係
Fig.5.22 Relation between Fracture Elongation and Time to
 Rupture at 550℃ for SUS304 EB Weld Metal
- 図 5.23 600℃における SUS304EB 溶接金属の破断伸びと破断時間の関係
Fig.5.23 Relation between Fracture Elongation and Time to
 Rupture at 600℃ for SUS304 EB Weld Metal

図リスト (5)

- 図 5.24 SUS304 EB 溶接金属の連続繰返しに伴う最大応力の変化
Fig. 5.24 Variation of Maximum Stress during Continuous Cycling for SUS304 EB Weld Metal
- 図 5.25 SUS304 EB 溶接金属の引張側保持ありの繰返しに伴う最大応力の変化
Fig. 5.25 Variation of Maximum Stress during Tension Hold Time Cycling for SUS304 EB Weld Metal
- 図 5.26 500℃における SUS304 EB 溶接金属の低サイクル疲労寿命
Fig. 5.26 Low Cycle Fatigue Life at 500℃ for SUS304 EB Weld Metal
- 図 5.27 550℃における SUS304 EB 溶接金属の低サイクル疲労寿命
Fig. 5.27 Low Cycle Fatigue Life at 550℃ for SUS304 EB Weld Metal
- 図 5.28 600℃における SUS304 EB 溶接金属の低サイクル疲労寿命
Fig. 5.28 Low Cycle Fatigue Life at 600℃ for SUS304 EB Weld Metal
- 図 5.29 500℃における SUS304 EB 溶接金属の繰返し応力 - ひずみ曲線
Fig. 5.29 Cyclic Stress-Strain Curve at 500℃ for SUS304 EB Weld Metal
- 図 5.30 550℃における SUS304 EB 溶接金属の繰返し応力 - ひずみ曲線
Fig. 5.30 Cyclic Stress-Strain Curve at 550℃ for SUS304 EB Weld Metal

図リスト (6)

図 5.31 600℃における SUS304 EB 溶接金属の繰返し応力 - ひずみ曲線
Fig. 5.31 Cyclic Stress-Strain Curve at 600℃ for SUS304 EB
Weld Metal

図 5.32 500℃における SUS304 EB 溶接金属のクリープ疲労試験におけるひずみ
保持中のリラクセーション
Fig. 5.32 Relaxation Behavior in Strain-Hold Time for Creep-
Fatigue Test for SUS304 EB Weld Metal

図 5.33 550℃における SUS304 EB 溶接金属のクリープ疲労試験におけるひずみ
保持中のリラクセーション
Fig. 5.33 Relaxation Behavior in Strain-Hold Time for Creep-
Fatigue Test for SUS304 EB Weld Metal

図 5.34 600℃における SUS304 EB 溶接金属のクリープ疲労試験におけるひずみ
保持中のリラクセーション
Fig. 5.34 Relaxation Behavior in Strain-Hold Time for Creep-
Fatigue Test for SUS304 EB Weld Metal

6 章

図 6.1 Mod.9Cr-1Mo 鋼板材および 9Cr-1MoVNb 鋼板材の 0.2% 耐力
Fig.6.1 0.2% Offset Yield Strength for Mod.9Cr-1Mo Steel
Plate and 9Cr-1MoVNb Steel Plate

図 6.2 Mod.9Cr-1Mo 鋼板材および 9Cr-1MoVNb 鋼板材の引張強さ
Fig.6.2 Ultimate Tensile Strength for Mod.9Cr-1Mo Steel Plate
and 9Cr-1MoVNb Steel Plate

図リスト (7)

- 図 6.3 Mod.9Cr-1Mo 鋼板材および 9Cr-1MoVNb 鋼板材の引張破断伸び
Fig.6.3 Fracture Elongation for Mod.9Cr-1Mo Steel Plate and
9Cr-1MoVNb Steel Plate
- 図 6.4 Mod.9Cr-1Mo 鋼板材および 9Cr-1MoVNb 鋼板材の引張破断絞り
Fig.6.4 Reduction of Area for Mod.9Cr-1Mo Steel Plate and
9Cr-1MoVNb Steel Plate
- 図 6.5 室温における Mod.9Cr-1Mo 鋼板材および 9Cr-1MoVNb 鋼板材の
真応力 - 真ひずみ特性
Fig.6.5 True Stress-True Strain Curves at R.T for Mod.9Cr-1Mo
Steel Plate and 9Cr-1MoVNb Steel Plate
- 図 6.6 450℃ における Mod.9Cr-1Mo 鋼板材および 9Cr-1MoVNb 鋼板材の
真応力 - 真ひずみ特性
Fig.6.6 True Stress-True Strain Curves at 450℃ for Mod.9Cr
-1Mo Steel Plate and 9Cr-1MoVNb Steel Plate
- 図 6.7 500℃ における Mod.9Cr-1Mo 鋼板材および 9Cr-1MoVNb 鋼板材の
真応力 - 真ひずみ特性
Fig.6.7 True Stress-True Strain Curves at 500℃ for Mod.9Cr
-1Mo Steel Plate and 9Cr-1MoVNb Steel Plate
- 図 6.8 550℃ における Mod.9Cr-1Mo 鋼板材および 9Cr-1MoVNb 鋼板材の
真応力 - 真ひずみ特性
Fig.6.8 True Stress-True Strain Curves at 550℃ for Mod.9Cr
-1Mo Steel Plate and 9Cr-1MoVNb Steel Plate

図リスト (8)

- 図 6.9 500℃における Mod.9Cr-1Mo 鋼板材および 9Cr-1MoVNb 鋼板材の
 クリープ曲線
- Fig.6.9 Creep Curves at 500℃ for Mod.9Cr-1Mo Steel Plate
 and 9Cr-1MoVNb Steel Plate
- 図 6.10 550℃における Mod.9Cr-1Mo 鋼板材および 9Cr-1MoVNb 鋼板材の
 クリープ曲線
- Fig.6.10 Creep Curves at 550℃ for Mod.9Cr-1Mo Steel Plate
 and 9Cr-1MoVNb Steel Plate
- 図 6.11 500℃における Mod.9Cr-1Mo 鋼板材および 9Cr-1MoVNb 鋼板材の
 クリープ曲線
- Fig.6.11 Creep Curves at 500℃ for Mod.9Cr-1Mo Steel Plate
 and 9Cr-1MoVNb Steel Plate
- 図 6.12 550℃における Mod.9Cr-1Mo 鋼板材および 9Cr-1MoVNb 鋼板材の
 クリープ曲線
- Fig.6.12 Creep Curves at 550℃ for Mod.9Cr-1Mo Steel Plate
 and 9Cr-1MoVNb Steel Plate
- 図 6.13 500℃における Mod.9Cr-1Mo 鋼板材および 9Cr-1MoVNb 鋼板材の
 クリープ破断時間
- Fig.6.13 Creep Rupture Time at 500℃ for Mod.9Cr-1Mo Steel Plate
 and 9Cr-1MoVNb Steel Plate

図リスト (9)

- 図 6.14 550℃におけるMod.9Cr-1Mo鋼板材および9Cr-1MoVNb鋼板材の
クリープ破断時間
- Fig.6.14 Creep Rupture Time at 550℃ for Mod.9Cr-1Mo Steel Plate
and 9Cr-1MoVNb Steel Plate
- 図 6.15 500℃におけるMod.9Cr-1Mo鋼板材および9Cr-1MoVNb鋼板材の
応力と定常クリープ速度の関係
- Fig.6.15 Relation between Stress and Steady Creep Rate at
500℃ for Mod.9Cr-1Mo Steel Plate and 9Cr-1MoVNb
Steel Plate
- 図 6.16 550℃におけるMod.9Cr-1Mo鋼板材および9Cr-1MoVNb鋼板材の
応力と定常クリープ速度の関係
- Fig.6.16 Relation between Stress and Steady Creep Rate at
550℃ for Mod.9Cr-1Mo Steel Plate and 9Cr-1MoVNb
Steel Plate
- 図 6.17 500℃におけるMod.9Cr-1Mo鋼板材および9Cr-1MoVNb鋼板材の
破断伸びと破断時間の関係
- Fig.6.17 Relation between Fracture Elongation and Time to
Rupture at 500℃ for Mod.9Cr-1Mo Steel Plate and
9Cr-1MoVNb Steel Plate
- 図 6.18 550℃におけるMod.9Cr-1Mo鋼板材および9Cr-1MoVNb鋼板材の
破断伸びと破断時間の関係
- Fig.6.18 Relation between Fracture Elongation and Time to
Rupture at 550℃ for Mod.9Cr-1Mo Steel Plate and
9Cr-1MoVNb Steel Plate

図リスト (10)

7 章

図 7.1 SUS304/Mod.9Cr-1Mo 異材継手および SUS304/9Cr-1MoVNb
異材継手の 0.2% 耐力

Fig.7.1 0.2% Offset Yield Strength for SUS304/Mod.9Cr-1Mo
Dissimilar Welded Joint and SUS304/9Cr-1MoVNb
Dissimilar Welded Joint

図 7.2 SUS304/Mod.9Cr-1Mo 異材継手および SUS304/9Cr-1MoVNb
異材継手の引張強さ

Fig.7.2 Ultimate Tensile Strength for SUS304/Mod.9Cr-1Mo
Dissimilar Welded Joint and SUS304/9Cr-1MoVNb
Dissimilar Welded Joint

図 7.3 SUS304/Mod.9Cr-1Mo 異材継手および SUS304/9Cr-1MoVNb
異材継手の引張破断伸び

Fig.7.3 Fracture Elongation for SUS304/Mod.9Cr-1Mo Dissimilar
Welded Joint and SUS304/9Cr-1MoVNb Dissimilar
Welded Joint

図 7.4 SUS304/Mod.9Cr-1Mo 異材継手および SUS304/9Cr-1MoVNb
異材継手の引張破断絞り

Fig.7.4 Reduction of Area for SUS304/Mod.9Cr-1Mo Dissimilar
Welded Joint and SUS304/9Cr-1MoVNb Dissimilar
Welded Joint

図リスト (11)

- 図 7.5 室温における SUS304 / Mod.9Cr-1Mo 異材継手および
 SUS304 / 9Cr-1MoVNb 異材継手の真応力 - 真ひずみ特性
- Fig.7.5 True Stress-True Strain Curves at R.T for SUS304
 / Mod.9Cr-1Mo Dissimilar Welded Joint and SUS304
 / 9Cr-1MoVNb Dissimilar Welded Joint
- 図 7.6 500℃ における SUS304 / Mod.9Cr-1Mo 異材継手および
 SUS304 / 9Cr-1MoVNb 異材継手の真応力 - 真ひずみ特性
- Fig.7.6 True Stress-True Strain Curves at 500℃ for SUS304
 / Mod.9Cr-1Mo Dissimilar Welded Joint and SUS304
 / 9Cr-1MoVNb Dissimilar Welded Joint
- 図 7.7 550℃ における SUS304 / Mod.9Cr-1Mo 異材継手および
 SUS304 / 9Cr-1MoVNb 異材継手の真応力 - 真ひずみ特性
- Fig.7.7 True Stress-True Strain Curves at 550℃ for SUS304
 / Mod.9Cr-1Mo Dissimilar Welded Joint and SUS304
 / 9Cr-1MoVNb Dissimilar Welded Joint

8 章

- 図 8. 1 550℃ における SUS304 溶着金属のクリープ曲線
- Fig. 8. 1 Creep Curves at 550℃ for SUS304 Deposited Metal
- 図 8. 2 600℃ における SUS304 溶着金属のクリープ曲線
- Fig. 8. 2 Creep Curves at 600℃ for SUS304 Deposited Metal
- 図 8. 3 550℃ における SUS304 溶着金属のクリープ曲線
- Fig. 8. 3 Creep Curves at 550℃ for SUS304 Deposited Metal

図リスト (12)

- 図 8. 4 600°C における SUS304 溶着金属のクリープ曲線
Fig. 8. 4 Creep Curves at 600°C for SUS304 Deposited Metal
- 図 8. 5 SUS304 溶着金属のクリープ破断時間 (550°C)
Fig. 8. 5 Creep Rupture Time of SUS304 Deposited Metal (550°C)
- 図 8. 6 SUS304 溶着金属のクリープ破断時間 (600°C)
Fig. 8. 6 Creep Rupture Time of SUS304 Deposited Metal (600°C)
- 図 8. 7 SUS304 溶着金属の応力と定常クリープ速度の関係 (550°C)
Fig. 8. 7 Relation between Stress and Steady Creep Rate for
 SUS304 Deposited Metal (550°C)
- 図 8. 8 SUS304 溶着金属の応力と定常クリープ速度の関係 (600°C)
Fig. 8. 8 Relation between Stress and Steady Creep Rate for
 SUS304 Deposited Metal (600°C)
- 図 8. 9 SUS304 溶着金属の破断伸びと破断時間の関係 (550°C)
Fig. 8. 9 Relation between Fracture Elongation and Time to
 Rupture for SUS304 Deposited Metal (550°C)
- 図 8. 10 SUS304 溶着金属の破断伸びと破断時間の関係 (600°C)
Fig. 8. 10 Relation between Fracture Elongation and Time to
 Rupture for SUS304 Deposited Metal (600°C)
- 図 8. 11 550°C における SUS321 溶着金属のクリープ曲線
Fig. 8. 11 Creep Curves at 550°C for SUS321 Deposited Metal

図リスト (13)

- 図 8. 12 600℃における SUS321 溶着金属のクリープ曲線
Fig. 8. 12 Creep Curves at 600℃ for SUS321 Deposited Metal
- 図 8. 13 550℃における SUS321 溶着金属のクリープ曲線
Fig. 8. 13 Creep Curves at 550℃ for SUS321 Deposited Metal
- 図 8. 14 600℃における SUS321 溶着金属のクリープ曲線
Fig. 8. 14 Creep Curves at 600℃ for SUS321 Deposited Metal
- 図 8. 15 SUS321 溶着金属のクリープ破断時間 (550℃)
Fig. 8. 15 Creep Rupture Time of SUS321 Deposited Metal (550℃)
- 図 8. 16 SUS321 溶着金属のクリープ破断時間 (600℃)
Fig. 8. 16 Creep Rupture Time of SUS321 Deposited Metal (600℃)
- 図 8. 17 SUS321 溶着金属の応力と定常クリープ速度の関係 (550℃)
Fig. 8. 17 Relation between Stress and Steady Creep Rate for
SUS321 Deposited Metal (550℃)
- 図 8. 18 SUS321 溶着金属の応力と定常クリープ速度の関係 (600℃)
Fig. 8. 18 Relation between Stress and Steady Creep Rate for
SUS321 Deposited Metal (600℃)
- 図 8. 19 SUS321 溶着金属の破断伸びと破断時間の関係 (550℃)
Fig. 8. 19 Relation between Fracture Elongation and Time to
Rupture for SUS321 Deposited Metal (550℃)

図リスト (14)

- 図 8. 20 SUS321 溶着金属の破断伸びと破断時間の関係 (600°C)
Fig. 8. 20 Relation between Fracture Elongation and Time to Rupture for SUS321 Deposited Metal (600°C)
- 図 8. 21 470°C における 2¼Cr-1Mo 溶着金属のクリープ曲線
Fig. 8. 21 Creep Curves at 470°C for 2¼Cr-1Mo Deposited Metal
- 図 8. 22 520°C における 2¼Cr-1Mo 溶着金属のクリープ曲線
Fig. 8. 22 Creep Curves at 520°C for 2¼Cr-1Mo Deposited Metal
- 図 8. 23 470°C における 2¼Cr-1Mo 溶着金属のクリープ曲線
Fig. 8. 23 Creep Curves at 470°C for 2¼Cr-1Mo Deposited Metal
- 図 8. 24 520°C における 2¼Cr-1Mo 溶着金属のクリープ曲線
Fig. 8. 24 Creep Curves at 520°C for 2¼Cr-1Mo Deposited Metal
- 図 8. 25 2¼Cr-1Mo 溶着金属のクリープ破断時間 (470°C)
Fig. 8. 25 Creep Rupture Time of 2¼Cr-1Mo Deposited Metal (470°C)
- 図 8. 26 2¼Cr-1Mo 溶着金属のクリープ破断時間 (520°C)
Fig. 8. 26 Creep Rupture Time of 2¼Cr-1Mo Deposited Metal (520°C)
- 図 8. 27 2¼Cr-1Mo 溶着金属の応力と定常クリープ速度の関係 (470°C)
Fig. 8. 27 Relation between Stress and Steady Creep Rate for 2¼Cr-1Mo Deposited Metal (470°C)

図リスト (15)

- 図 8. 28 $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$ 溶着金属の応力と定常クリープ速度の関係 (520℃)
Fig. 8. 28 Relation between Stress and Steady Creep Rate for
 $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$ Deposited Metal (520℃)
- 図 8. 29 $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$ 溶着金属の破断伸びと破断時間の関係 (470℃)
Fig. 8. 29 Relation between Fracture Elongation and Time to
Rupture for $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$ Deposited Metal (470℃)
- 図 8. 30 $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$ 溶着金属の破断伸びと破断時間の関係 (520℃)
Fig. 8. 30 Relation between Fracture Elongation and Time to
Rupture for $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$ Deposited Metal (520℃)

写真リスト (1)

5章

- 写真 5.1 破断後の SUS304EB 溶接金属引張試験片外観
Photo.5.1 Appearance after Tensile Tests for SUS304 EB Weld Metal
- 写真 5.2 破断後の SUS304EB 溶接金属クリープ試験片外観
Photo.5.2 Appearance after Creep Tests for SUS304 EB Weld Metal
- 写真 5.3 破断後の SUS304EB 溶接継手クリープ試験片外観
Photo.5.3 Appearance after Creep Tests for SUS304 EB Welded Joint
- 写真 5.4 破断後の SUS304EB 溶接金属疲労試験片外観
Photo.5.4 Appearance after Tests for SUS304 EB Weld Metal

6章

- 写真 6.1 破断後の Mod.9Cr-1Mo 鋼板材引張試験片外観
Photo.6.1 Appearance after Tensile Tests for Mod.9Cr-1Mo Steel Plate
- 写真 6.2 破断後の 9Cr-1MoVNb 鋼板材引張試験片外観
Photo.6.2 Appearance after Tensile Tests for 9Cr-1MoVNb Steel Plate
- 写真 6.3 破断後の Mod.9Cr-1Mo 鋼板材クリープ試験片外観
Photo.6.3 Appearance after Creep Tests for Mod.9Cr-1Mo Steel Plate

写真リスト (2)

- 写真 6.4 破断後の 9Cr-1MoVNb 鋼板材クリープ試験片外観
Photo.6.4 Appearance after Creep Tests for 9Cr-1MoVNb Steel Plate

7 章

- 写真 7.1 破断後の SUS304/Mod.9Cr-1Mo 異材継手引張試験片外観
Photo.7.1 Appearance after Tensile Tests for SUS304/Mod.9Cr-1Mo Dissimilar Welded Joint
- 写真 7.2 破断後の SUS304/9Cr-1MoVNb 異材継手引張試験片外観
Photo.7.2 Appearance after Tensile Tests for SUS304/9Cr-1MoVNb Dissimilar Welded Joint

1. 緒 言

大型炉の構造設計を進める上で、溶接部の構造健全性を評価するための基礎データの拡充は重要となってきた。このため、溶接部の構造健全性を評価するために必要な基礎データの拡充を目的とし、今後の溶接施工の改良方向として有力な電子ビーム溶接継手に関する高温強度試験を継続し、データの拡充を図る必要がある。

また、大型炉用構造材料として有力視されている9Cr系鋼を使用する場合、SUS304鋼との異材継手部が必要となることが予想されるため、母材及び異材継手に関する高温強度試験を実施し、継手評価並びに材料強度基準策定用¹⁾のための基礎データを蓄積する必要がある。

本報告書は「大型実証炉」を対象とする構造材料の継手強度に関し、SUS304鋼板EB溶接継手の基本材料特性試験のうち溶接金属の特性を把握するための高温引張試験、クリープ試験および高温疲労試験、また9Cr系鋼板2鋼種についての母材およびSUS304鋼との異材継手の高温引張試験およびクリープ試験を実施し、その成果について述べたものである。

2. 試験研究の概要

2. 1 試験研究の範囲

本研究においては、SUS304鋼板材(40'), Mod. 9Cr-1Mo鋼板材(25'), 9Cr-1MoVNb鋼板材(25t)を用い以下の試験を実施した。

SUS304鋼板材については、EB溶接により、溶接金属、継手試験片を製作し高温引張試験、クリープ試験および高温低サイクル疲労試験を実施した。

Mod. 9Cr-1Mo鋼板材および9Cr-1MoVNb鋼板材については、SUS304鋼との異材継手試験片を製作し、母材および異材継手の高温引張試験およびクリープ試験を実施した。なお、Mod. 9Cr-1Mo鋼、9Cr-1MoVNb鋼母材試験用の両板材に対しては、試験前に溶接後熱処理として考えられている熱処理(Mod. 9Cr-1Mo鋼: 740℃×8.4hr, 9Cr-1MoVNb鋼: 710℃×8.4hr)を施工した。

本試験研究の範囲一覧表を表2.1に示す。

2. 2 試験研究結果の概要

(1) SUS304鋼板EB溶接金属の基礎材料特性

- 1) SUS304鋼板EB溶接金属は母材に比して、0.2%耐力では高目となっているが、引張強さでは同等かやや低目となっている。また破断伸びおよび絞りは低目の値を示す。
- 2) SUS304鋼板EB溶接金属のクリープ破断強度は母材に比して若干下回っている。

(2) 9Cr系鋼板の引張およびクリープ特性

- 1) Mod. 9Cr-1Mo鋼板材は9Cr-1MoVNb鋼板材に比べ、引張強度は若干高いが、引張破断延性は小さい。
- 2) Mod. 9Cr-1Mo (NT) 材料強度基準等(暫定値)のSy値およびSu値と比較すると、Mod. 9Cr-1Mo鋼板材は若干高目の値を示すが、9Cr-1MoVNb鋼板材は同等か若干低目の値を示す。

3) Mod. 9Cr-1Mo鋼板材は9Cr-1MoVNb鋼板材に比べ、クリープ破断強度は高いが、クリープ破断延性は小さい。

Mod. 9Cr-1Mo (NT) 材料強度基準等 (暫定値) の S_R 値と比較すると、Mod. 9Cr-1Mo鋼板材は同等か若干上回る傾向を示しているが、9Cr-1MoVNb鋼板材は同等か若干低目の値を示している。

(3) SUS304鋼/9Cr系鋼異材継手の高温強度特性

SUS304/Mod. 9Cr-1Mo異材継手の引張特性は高温でSUS304鋼部で破断し、引張強さもSUS304鋼の母材値にはほぼ等しい。一方、SUS304/9Cr-1MoVNb異材継手の破断位置は500℃でSUS304鋼部、550℃で9Cr-1MoVNb鋼部である。

(4) 溶着金属の長時間クリープ継続試験について

昭和57年度より継続して行っているSUS304鋼溶着金属 (SMAW)、SUS321鋼溶着金属 (TIG) および2¼Cr-1Mo鋼溶着金属 (SMAW) の長時間クリープ試験の結果を次に示す。

- (1) SUS304鋼溶着金属のクリープ破断強度、定常クリープ速度はPFWの2種溶材データの中間の値を示す。また、破断伸びは若干低目である。
- (2) SUS321鋼溶着金属のクリープ破断強度、定常クリープ速度はS52年度KOM委託試験の三菱データ (自動テイク溶接改良形321系ワイヤ使用) をやや下回る傾向がある。一方、破断伸びはほぼ同程度である。
- (3) 2¼Cr-1Mo鋼溶着金属のクリープ破断強度、定常クリープ速度はPFWデータと同等の値を示すが、破断伸びは470℃でやや大きく、520℃で低目である。

表2. 1 試験研究の範囲一覧表

Table 2.1 Schedule of Present Test

試験項目		供試材および 試験片採取方向	温度 (°C)	応力 (kgf/mm ²)			ひずみ速度	ひずみ 範囲 (%)	保持時間 (min)	試験片数 (本)				
SUS304 EB溶接金属の基本材料特性試験	高温引張試験	SUS304 EB溶接金属	R T	—			0.3 (%/min)	—	—	8				
			500											
			550											
			600											
	クリープ試験	SUS304 EB溶接金属 EB溶接継手	500	34	22	—	—	—	—	溶金: 6 横継手: 4 縦継手: 3				
				28.5	22									
			550	25.7	16.3	—								
				20	15									
			600	19.1	12	—								
				16	12									
	高温疲労試験	SUS304 EB溶接金属	500	—			0.1(%/sec)	1.0	0	6				
									10					
0														
10														
9引張系及鋼板のクリープ試験	高温引張試験	Mod. 9Cr-1Mo 母材 9Cr-1MoVNB 母材	R T	—			0.3 (%/min)	—	—	8				
			450											
			500											
			550											
9引張系及鋼板のクリープ試験	クリープ試験	Mod. 9Cr-1Mo 母材	500	32	25.6	—	—	—	8					
				29	23.5									
			550	21	18.7									
				20	17.8									
		9Cr-1MoVNB 母材	500	31	27.5	—	—	—	8					
				30	26									
			550	24	20.4									
				22	19.3									
SUS304鋼-9Cr系鋼異材継手の高温強度試験	高温引張試験	SUS304/Mod. 9Cr-1Mo 異材継手	R T	—			0.3 (%/min)	—	—	8				
			500											
			550											
	クリープ試験	SUS304/Mod. 9Cr-1Mo 異材継手	500	32	25.6	—	—	—	8					
				29	23.5									
			550	21	18.7									
				20	17.8									
			SUS304/9Cr-1MoVNB 異材継手	500	31					27.5	—	—	—	8
					30					26				
		550		24	20.4									
					22	19.3								

3. 供試材料

3. 1 E B 溶接金属及び継手試験用供試材

(1) 素 材

E B 溶接金属及び継手試験用供試材としては、その製造工程、仕様および確性試験結果をそれぞれ図 3. 1, 表 3. 1 および表 3. 2 に示した SUS 304 鋼板材 (40') を使用した。

(2) 溶接施工

溶接施工条件を表 3. 3 に示す。なお、本溶接ではインサートメタルは用いていない。

溶接施工後、溶接部の液体浸透探傷検査および放射線透過試験を実施して総て無欠陥であることを確認した。

3. 2 9 C r 系鋼板母材試験用供試材

9 C r 系鋼板の引張およびクリープ試験に用いた母材試験用素材は、Mod. 9 C r - 1 M o 鋼板材 (25' × 1000^w × 1000') および 9 C r - 1 M o V N b 鋼板材 (25' × 1000^w × 1000') である。これらの材料の確性試験結果を表 3. 4 および表 3. 5 に示す。

3. 3 SUS 304 鋼 / 9 C r 系鋼異材継手試験用供試材

(1) 素 材

SUS 304 鋼 / 9 C r 系鋼異材継手試験用素材としては、E B 溶接金属および継手試験用に用いた SUS 304 鋼板材 (40' × 1000^w × 1000') と 9 C r 系鋼板母材試験用に用いた Mod. 9 C r - 1 M o 鋼板材および 9 C r - 1 M o V N b 鋼板材である。

(2) 溶接材料

SUS 304 鋼 / 9 C r 系鋼異材継手製作のための溶接材料はバタリング溶接、継手溶接ともインコネル系 TGS - 70 N C b (φ 1. 2) を試験に供した。この溶接材料は神戸製鋼所製である。その化学成分を表 3. 6 に示す。

(3) 溶接施工

溶接施工条件を表 3. 7 に示す。

異材継手の製作過程は SUS 304 / Mod. 9Cr-1Mo 異材継手および SUS 304 / 9Cr-1MoVNb 異材継手とも同じである。まず、9Cr 系鋼側をバタリング溶接し、図 3. 2 に示す SR 熱処理後開先加工を行い SUS 304 との継手溶接を行った。

なお、バタリング溶接および継手溶接とも、施工後溶接部の液体浸透探傷検査および放射線透過試験を実施し総て無欠陥であることを確認している。

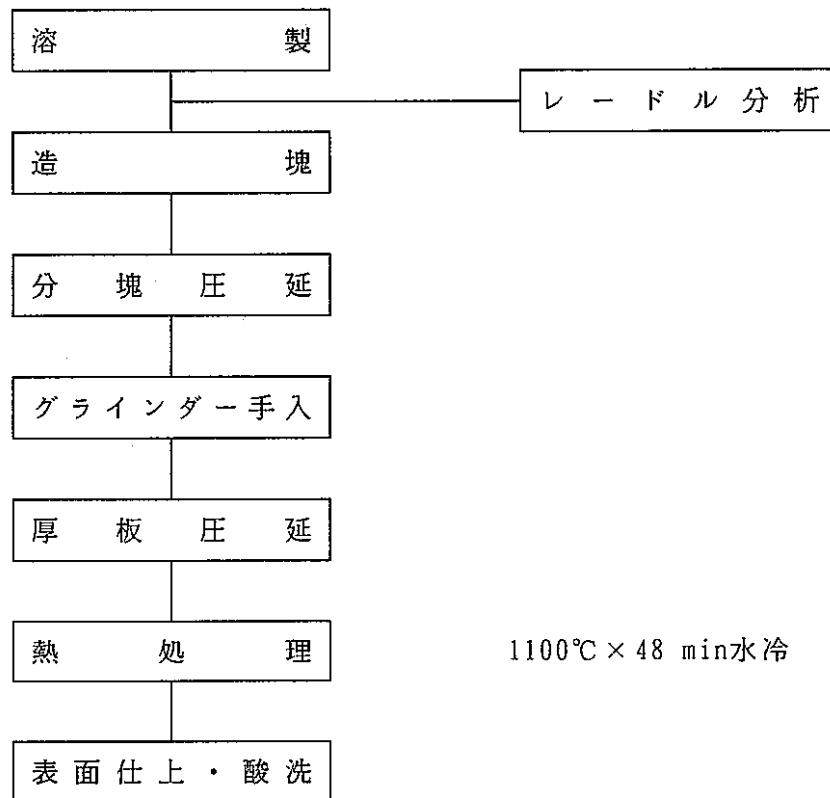


図 3. 1 SUS304 鋼板材の製造工程

Fig.3.1 Manufacturing Process of SUS304 Steel Plate

表 3. 1 SUS304 鋼板材の製造仕様概要

Table 3.1 Summary of Manufacturing Specifications for SUS304 Steel Plate

項 目	内 容																															
適用規格	1. JIS G 4304-1972 「熱間圧延ステンレス鋼板」 2. 通産省告示第 501 号 - 昭和 45 年 9 月 「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」																															
製 造	1. 製造方式：電気炉溶製鋼塊の熱間圧延 2. 熱処理：JIS G 4304による固溶化熱処理 1,010 ~ 1,150℃ 水 冷																															
品質管理	1. 化学成分（とりべ分析値，％） <table border="1" data-bbox="443 891 1481 1169"> <thead> <tr> <th>C</th> <th>Si</th> <th>Mn</th> <th>P</th> <th>S</th> <th>Ni</th> <th>Cr</th> <th>Co</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>≤ 0.08</td> <td>≤ 1.00</td> <td>≤ 2.00</td> <td>≤ 0.04</td> <td>≤ 0.03</td> <td>8.00 }</td> <td>18.00 }</td> <td rowspan="2">≤ 0.25</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>10.5</td> <td>20.00</td> </tr> </tbody> </table> 2. 機械的性質 <table border="1" data-bbox="443 1258 1348 1536"> <thead> <tr> <th>0.2% 耐力 (kgf/mm²)</th> <th>引張強さ (kgf/mm²)</th> <th>伸 び (%)</th> <th>ブリネル硬さ (H_B)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>≥ 21</td> <td>≥ 53</td> <td>≥ 40</td> <td>≥ 187</td> </tr> </tbody> </table>	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Co	≤ 0.08	≤ 1.00	≤ 2.00	≤ 0.04	≤ 0.03	8.00 }	18.00 }	≤ 0.25						10.5	20.00	0.2% 耐力 (kgf/mm ²)	引張強さ (kgf/mm ²)	伸 び (%)	ブリネル硬さ (H _B)	≥ 21	≥ 53	≥ 40	≥ 187
C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Co																									
≤ 0.08	≤ 1.00	≤ 2.00	≤ 0.04	≤ 0.03	8.00 }	18.00 }	≤ 0.25																									
					10.5	20.00																										
0.2% 耐力 (kgf/mm ²)	引張強さ (kgf/mm ²)	伸 び (%)	ブリネル硬さ (H _B)																													
≥ 21	≥ 53	≥ 40	≥ 187																													
試験および 検査方法	1. とりべ分析：なし 2. 製品分析：JIS G 1211~1218 3. 引張試験：JIS Z 2241, G0567 4. 硬さ試験：JIS Z 2243 5. 超音波探傷試験：通産省告示第 501号, 1 条 垂直法による100%走査																															

表 3. 2 SUS304 鋼板材 (ヒート No. D52477102) の確性試験結果

Table 3.2 Certification Test Results of SUS304 Steel Plate
(Heat No. D52477102)

(a) 分析試験結果 (wt%)

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Co
0.05	0.59	0.87	0.027	0.003	8.98	18.47	0.12

(b) 熱処理結果

1100℃ × 48min → 水冷

(c) 機械試験

	0.2%耐力 (kgf/mm ²)	引張強さ (kgf/mm ²)	伸び (%)	絞り (%)	ブリネル硬さ (H _B)
R・T	23	64	63	—	135
550℃	12.6	39	40	—	—

(c) その他試験結果

結晶粒度	液体浸透探傷	超音波探傷	外観, 寸法検査
4.5	Good	Good	Good

表 3.3 E・B 溶接施工条件

Table 3.3 E・B Welding Conditions

材 質 (板厚)	SUS 304 鋼板 (40t)	SUS304 鋼板(40tを17に加工)	SUS 304 鋼板(40t)
開 先 形 状 と 溶 接 方 向			
加 速 電 圧 (kV)	50	40	40
ビーム電流 (mA)	400	300	300
溶 接 速 度 (mm/min)	300	600	200
焦 点 距 離 (mm)	300	300	300
対 物 距 離 (mm)	300	300	535
真 空 度 (mmHg)	2×10^{-4}	2×10^{-4}	2×10^{-4}
ス ロ ー プ (Sec)	-	-	-
偏 向 パターンの 周波数振巾	-	-	-
溶 接 姿 勢	水 平	水 平	下 向
対 象 試 験 片	疲労試験片 (横)	引張試験片 (横, 縦) クリープ試験片 (横, 縦) 疲労試験片 (縦)	引張試験片 (E・B 溶金) クリープ試験片 (E・B 溶金) 疲労試験片 (E・B 溶金)

表3. 4 Mod. 9Cr-1Mo鋼板材 (ヒートNo.027008-6) の確性試験結果

Table 3.4 Certification Test Results of Mod.9Cr-1Mo Steel Plate (Heat No.027008-6)

(a) 分析結果 (wt%)

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Nb	V	T.Al	N
レードル分析	0.08	0.26	0.45	0.006	0.001	0.1	8.89	0.95	0.08	0.22	0.006	0.066
チェック分析	0.10	0.26	0.42	0.006	0.001	0.1	8.84	0.96	0.08	0.22	0.005	0.068

(b) 熱処理結果

焼ならし: 1060°C×60min

焼もどし: 760°C×60min

(c) 機械試験結果*

	引 張 試 験			
	0.2%耐力 (kgf/mm ²)	引張強さ (kgf/mm ²)	伸 び (%)	絞 り (%)
R. T.	53.2	70.5	28.0	75.0
R. T.	54.2	71.5	27.0	74.0

* 740°C×8h24minのSR熱処理後試験実施

(d) その他の試験結果

結 晶 粒 度	超 音 波 探 傷	外 観 ・ 寸 法 検 査
10.5	Good	Good

表3.5 9Cr-1MoVNb鋼板材(ヒートNo. JG882-19-8333)の確性試験結果

Table 3.5 Certification Test Results of 9Cr-1MoVNb Steel Plate (Heat No. JG882-19-8333)

(a) 分析結果 (wt%)

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Nb	Sol. Al	T. N
レードル分析	0.08	0.13	0.69	0.006	0.002	0.17	8.05	0.95	0.2	0.04	0.005	0.012
チェック分析	0.08	0.13	0.72	0.009	0.002	0.18	8.01	0.92	0.21	0.05	0.006	0.012

(b) 熱処理結果

焼ならし: 1050°C×10min

焼もどし: 750°C×1h16min

(c) 機械試験結果*

	引 張 試 験			
	0.2%耐力 (kgf/mm ²)	引張強さ (kgf/mm ²)	伸 び (%)	絞 り (%)
R. T.	56.9	69.9	23.0	75.0
R. T.	55.3	68.7	23.0	76.0

* 740°C×8h24minのSR熱処理後試験実施

(d) その他の試験結果

結晶粒度	液体浸透探傷	超音波探傷	外観・寸法検査
7.0	————	Good	Good

表 3. 6 溶接材料の化学成分

Table 3.6 Chemical Compositions of Welding Materials

銘柄	溶接材料			化学成分 (%)										
	寸法 (mm)	メーカー	製造番号	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Nb	Ti	Fe	Cu
TGS-70NCb	φ 1.2	神鋼	HA3021	0.01	0.11	2.90	0.002	0.002	72.3	19.93	2.32	0.44	1.96	0.01

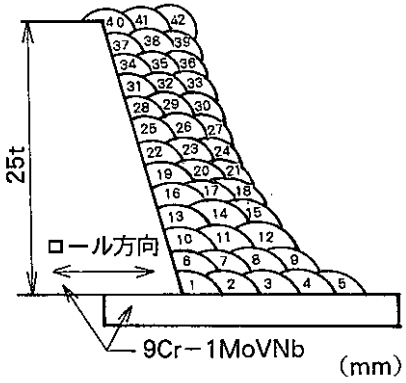
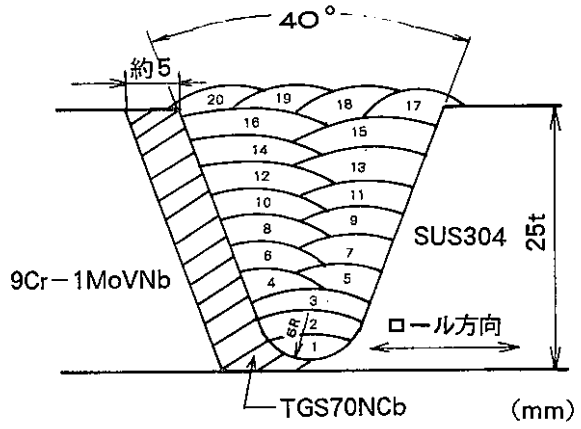
表 3. 7 異材溶接施工条件(1/2)

Table 3.7 Dissimilar Welding Conditions(1/2)

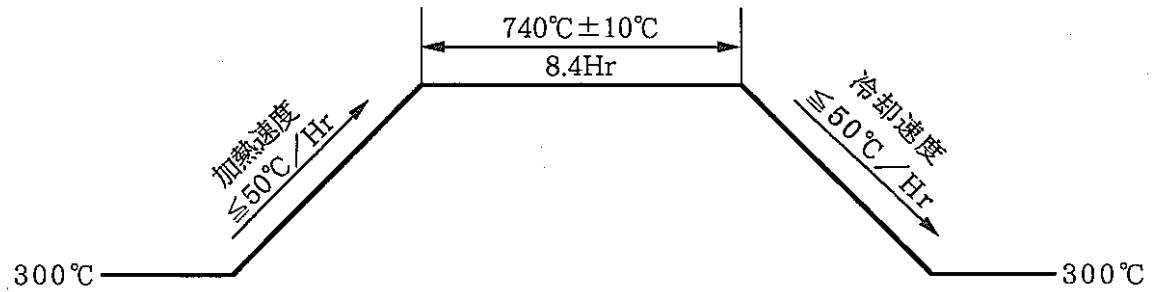
項目	バタリング溶接	継手溶接
材質	Mod. 9Cr-1Mo 鋼板材 (25t × 500')	SUS304/Mod. 9Cr-1Mo 鋼板材 (25t × 500')
開先形状 と 積層形状		
溶接法	自動TIG	自動TIG
溶接材料	TGS70NCb	TGS70NCb
棒径(mm)	1.2	1.2
電流(A)	170~200	185~280
電圧(V)	12~17	10~11
速度(cm/min)	10	8
入熱量 (KJ/cm)	20.4以下	23.1以下
予熱(°C)	150<温度<200	なし
層間温度 (°C)	150<温度<200	100以下
後熱処理	740°C×8.4hr	なし
姿勢	下向	下向

表 3. 7 異材溶接施工条件(2/2)

Table 3.7 Dissimilar Welding Conditions(2/2)

項目	バタリング溶接	継手溶接
材質	9Cr-1MoVNb鋼板材 (25' × 500')	SUS304/9Cr-1MoVNb 鋼板材 (25' × 500')
開先形状 と 積層形状		
溶接法	自動TIG	自動TIG
溶接材料	TGS70NCb	TGS70NCb
棒径(mm)	1.2	1.2
電流(A)	160~200	190~250
電圧(V)	10	10
速度(cm/min)	10	8
入熱量 (KJ/cm)	12以下	18.8以下
予熱(°C)	150<温度<200	なし
層間温度 (°C)	150<温度<200	100以下
後熱処理	710°C×8.4hr	なし
姿勢	下向	下向

(a) Mod.9Cr-1Mo 鋼板



(b) 9Cr-1MoVNb 鋼板

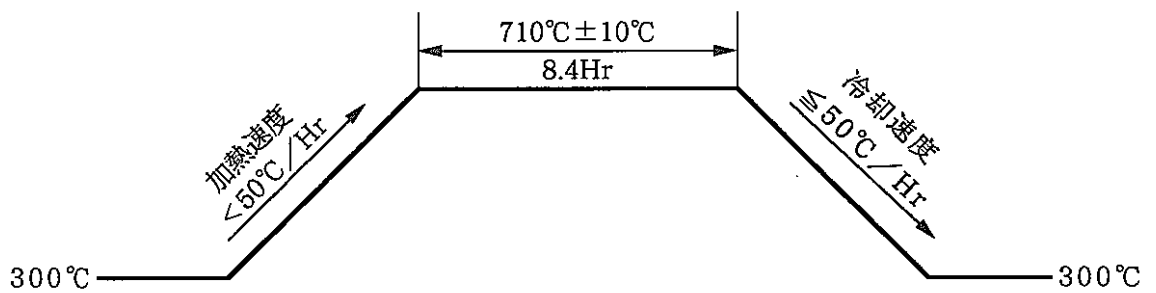


図 3.2 Mod.9Cr-1Mo 鋼板および 9Cr-1MoVNb 鋼板の後熱処理条件
Fig.3.2 Post-weld Heat Treatment Conditions of Mod.9Cr-1Mo Steel Plate and 9Cr-1MoVNb Steel Plate

4. 試験方法

4. 1 試験片採取要領

E B 溶接金属試験の採取方向を図 4. 1 に示す。引張試験片、クリープ試験片および疲労試験片とも溶接線方向が、試験片軸方向となるよう採取した。

E B 溶接継手試験片については、横継手は溶接線と直角方向に、縦継手は溶接線と平行に、試験片中央部に溶接線が位置するよう採取した。図 4. 2 に示す。

4. 2 試験片形状および寸法

(1) E B 溶接金属および継手試験片

E B 溶接金属試験片の形状と寸法を図 4. 3 に示す。引張およびクリープ試験片は平行部 $2' \times 6''$ 、標点距離 30 mm の板状試験片である。また、疲労試験片は平行部の径 4ϕ 、標点距離 8 mm である。

E B 溶接継手のクリープ試験片の形状と寸法を図 4. 4 に示す。横継手試験片は平行部の径 6ϕ 、標点距離 30 mm、縦継手試験片は平行部 $2' \times 6''$ 、標点距離 30 mm の板状試験片である。

(2) 9 Cr 系鋼板の母材試験片

9 Cr 系鋼板の母材試験片の形状と寸法について、引張試験片を図 4. 5、クリープ試験片を図 4. 6 に示す。引張およびクリープ試験片とも平行部の径 6ϕ 、標点距離 30 mm である。

(3) 異材継手試験片

SUS 304 / Mod. 9 Cr - 1 Mo 異材継手、SUS 304 / 9 Cr - 1 Mo V Nb 異材継手とも同形状の試験片を用いた。図 4. 7 に示す。引張およびクリープ試験片とも平行部の径 6ϕ 、標点距離 30 mm である。溶接部は標点間の中央に幅約 20 mm（うちバタリング幅約 5 mm）程度を占めている。

4. 3 試験機仕様

使用した試験機の仕様を表 4. 1 ~ 4. 3 に示す。

4. 4 試験要領

(1) 高温引張試験

SUS304EB溶接金属, Mod. 9Cr-1Mo鋼および9Cr-1MoVNb鋼の母材とSUS304/Mod. 9Cr-1Mo異材継手およびSUS304/9Cr-1MoVNb異材継手について、表2.1に示した条件でJIS Z-2241およびJIS G-0567に準拠した試験を実施した。試験のくり返し数は2とした。ひずみ速度はひずみ範囲が約1%までは0.3%/minとし、それ以後はクロスヘッド間制御で8.3%/min (2.5mm/min)とした。

(2) クリープ試験

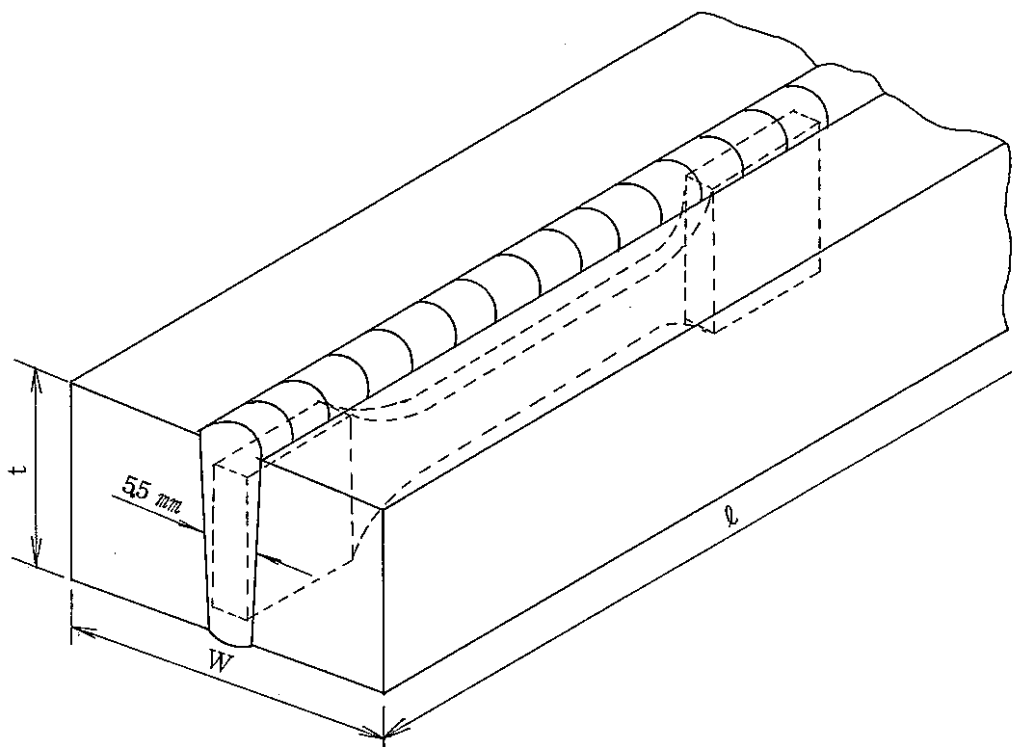
SUS304EB溶接金属および継手, Mod. 9Cr-1Mo鋼および9Cr-1MoVNb鋼の母材とSUS304/Mod. 9Cr-1Mo異材継手およびSUS304/9Cr-1MoVNb異材継手について表2.1に示した条件でJIS Z-2271に従ってクリープ破断試験を実施した。

ひずみの検出は作動変圧器 (昭和52年度貸与試験機) または Inductive Transducer (昭和53年度貸与試験機) にて行い、デジタルプリンターにより自動印字した。なお、停電の際は降温のみとし、除荷はしないものとした。

(3) 高温疲労試験

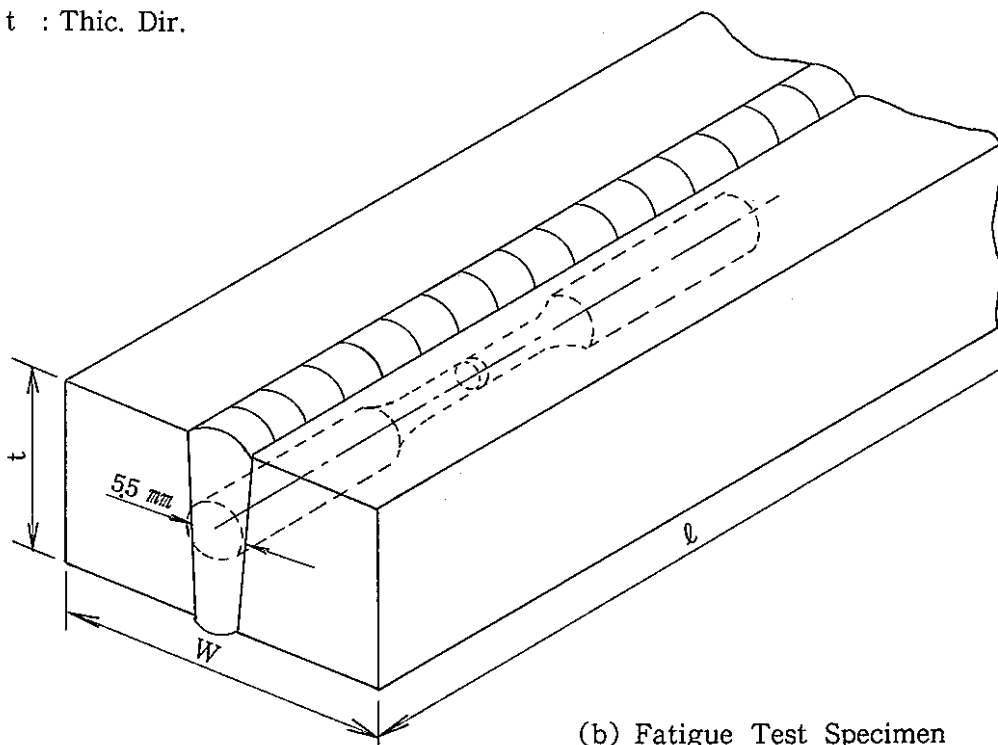
SUS304EB溶接金属について表2.1に示した条件で高温疲労試験を実施した。

試験はすべて変位制御によるひずみ速度0.1%/sec, 保持時間0minの三角波および引張側ひずみ10min保持ありの台形波である。変位は試験片平行部のGL間軸方向変位を検出器 (差動トランス型) で検出し制御している。温度制御は高周波加熱により試験片中央で行っている。



(a) Tensile Test Specimen Creep Test Specimen

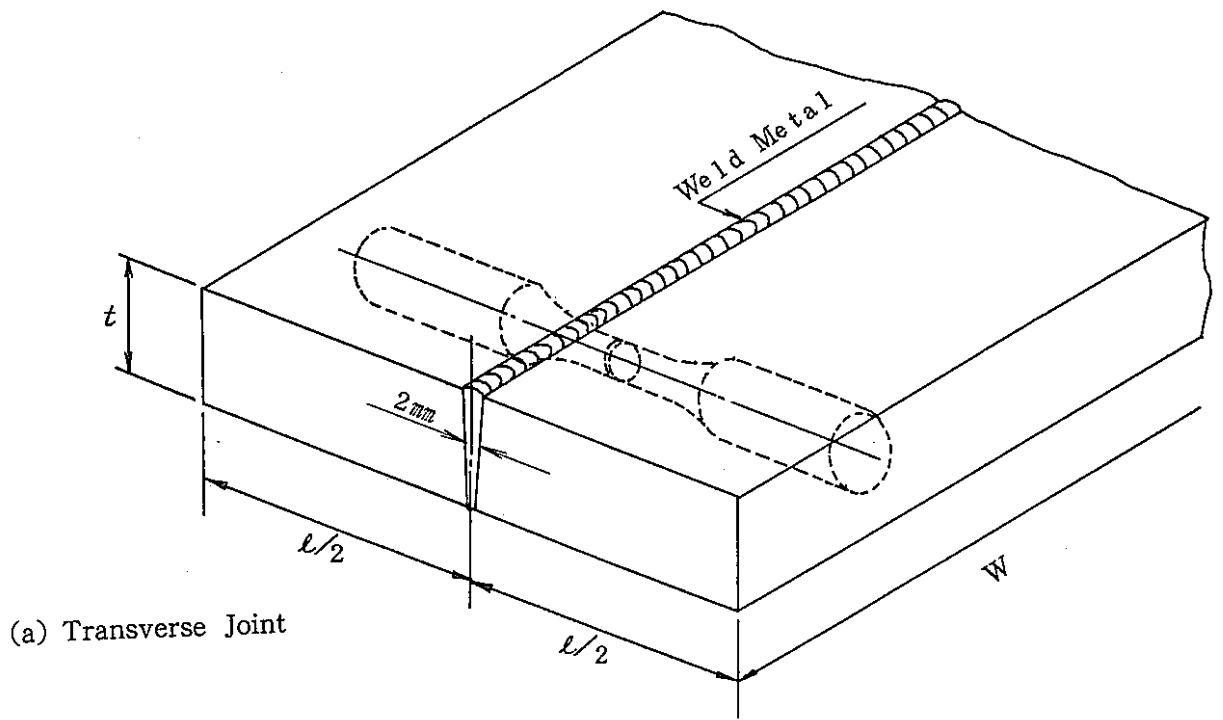
l : Roll. Dir.
 W : Wide Dir.
 t : Thic. Dir.



(b) Fatigue Test Specimen

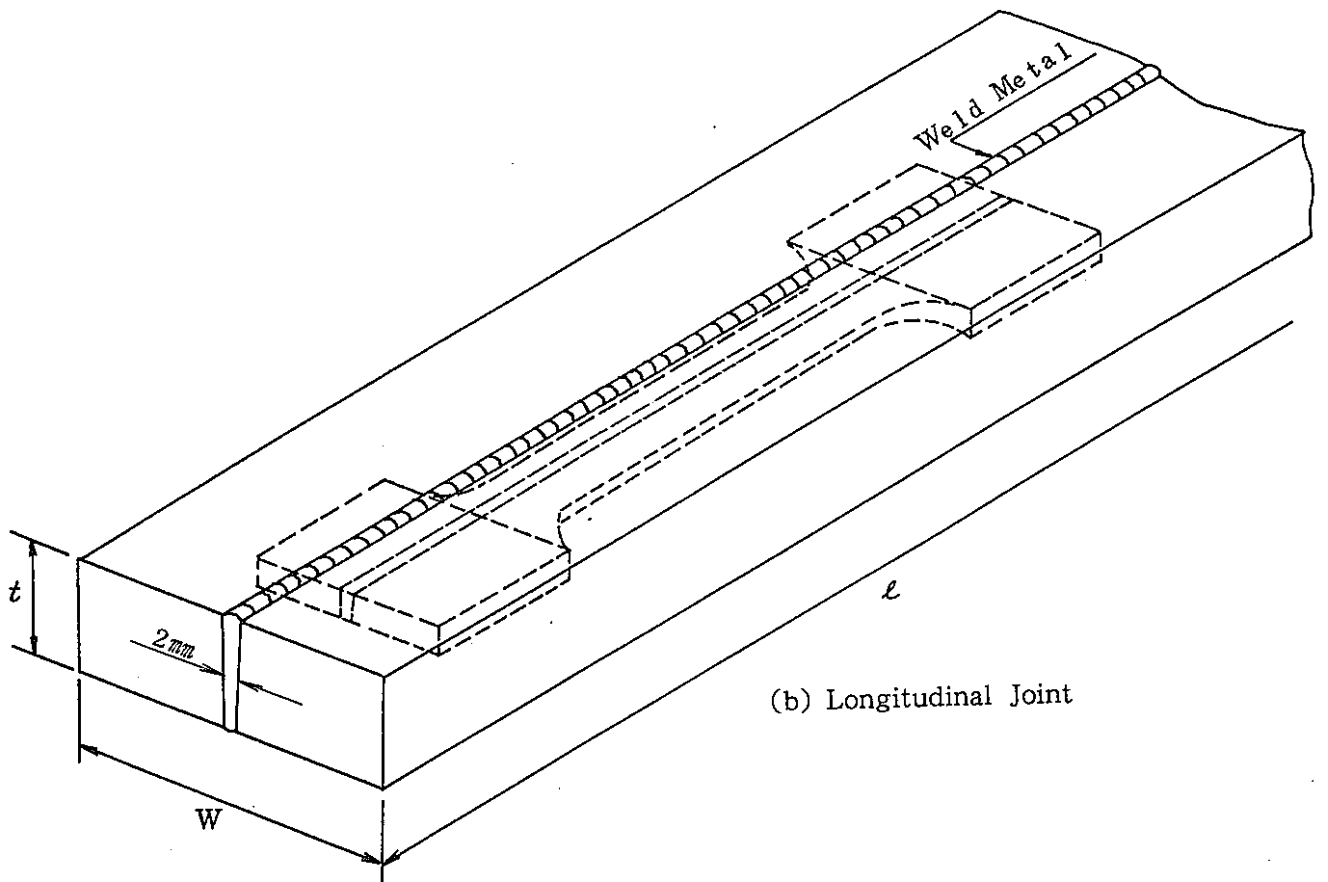
図 4.1 EB 溶接金属試験片の採取方向

Fig.4.1 Allocation of Test Specimens in EB Welded Plate



(a) Transverse Joint

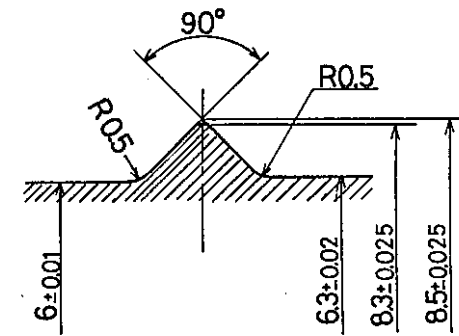
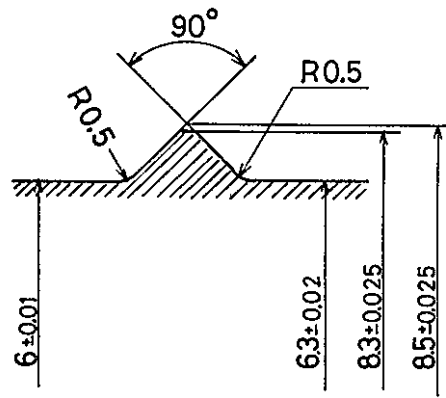
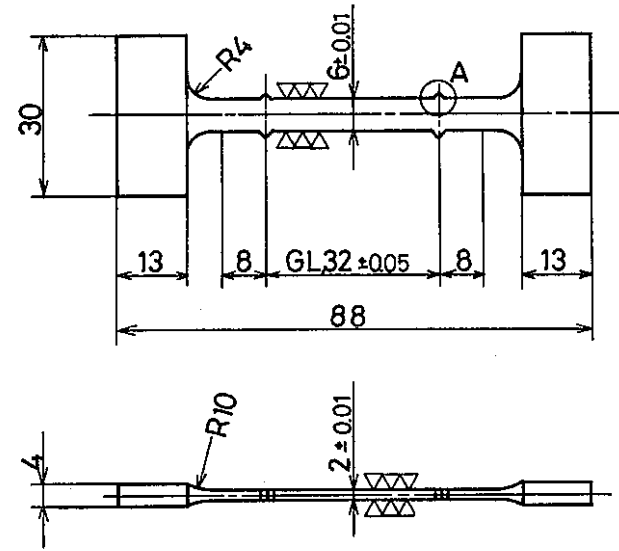
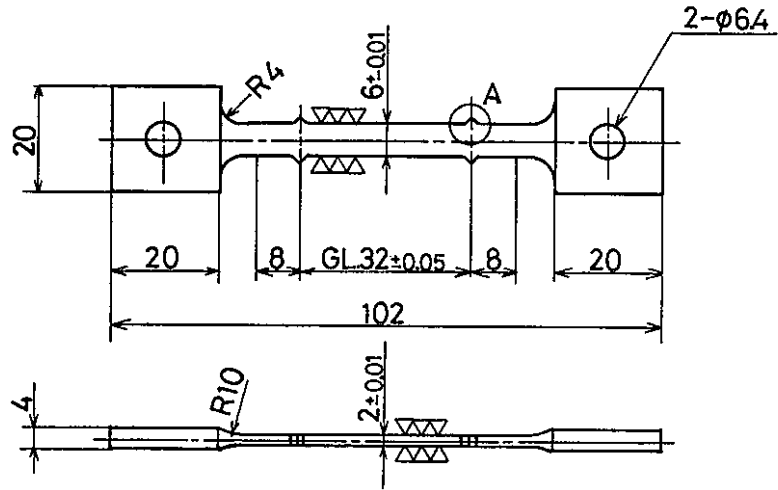
l : Roll. Dir.
 W : Wide Dir.
 t : Thic. Dir.



(b) Longitudinal Joint

図 4.2 EB 溶接継手試験片の採取方向

Fig.4.2 Allocation of Test Specimens in EB Welded Plate



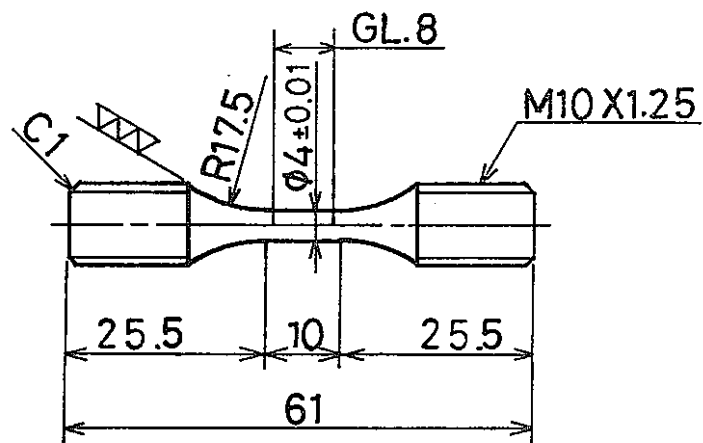
Detail "A"

Detail "A"

(a) Tensile Test Specimen for Weld Metal

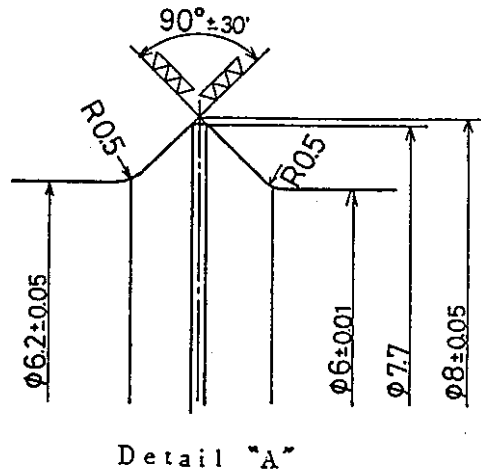
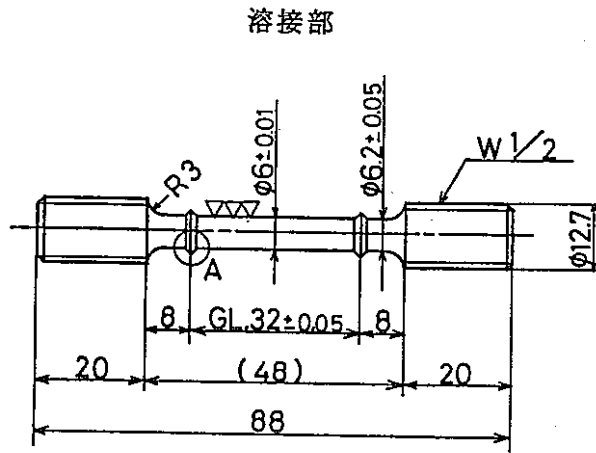
(b) Creep Test Specimen for Weld Metal

図 4.3 EB 溶接金属試験片の形状と寸法 (1/2) (mm)
 Fig.4.3 Shape and Size of Test Specimen for EB Weld Metal (1/2)

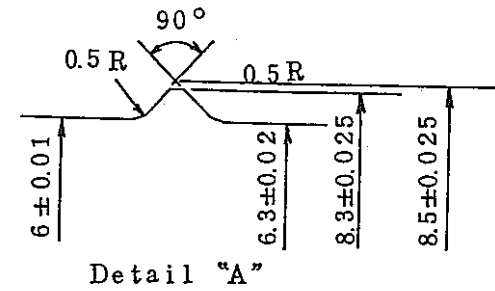
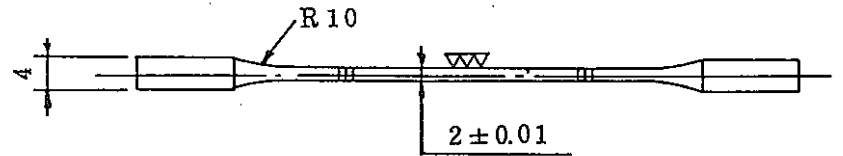
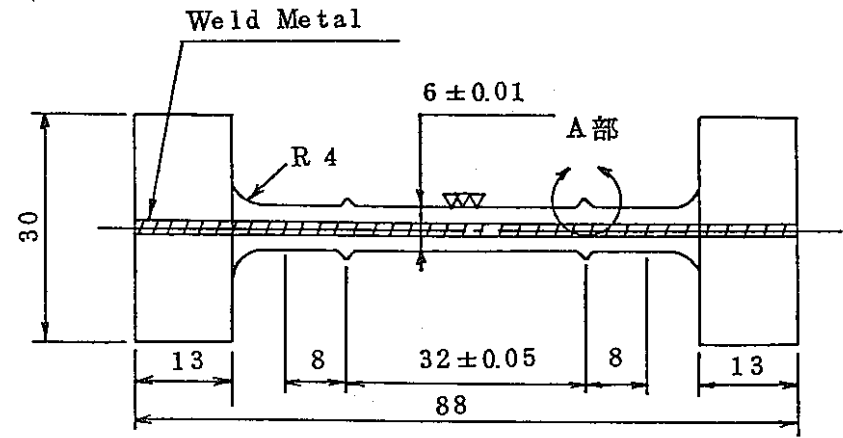


(c) Fatigue Test Specimen for Weld Metal

図 4.3 EB 溶接金属試験片の形状と寸法 (2/2) (mm)
 Fig.4.3 Shape and Size of Test Specimen for EB Weld Metal (2/2)



(a) Creep Test Specimen for Transverse Joint



(b) Creep Test Specimen for Longitudinal Joint

図 4.4 EB 溶接継手試験片の形状と寸法

(mm)

Fig.4.4 Shape and Size of Test Specimen for EB Welded Joint

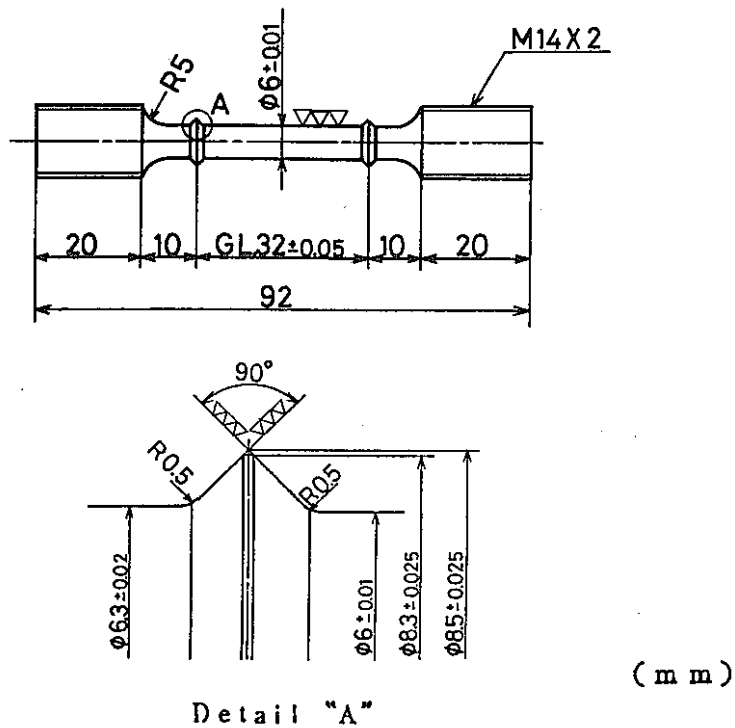


図 4.5 引張試験片の形状と寸法
 Fig.4.5 Shape and Size of Tensile Test Specimen

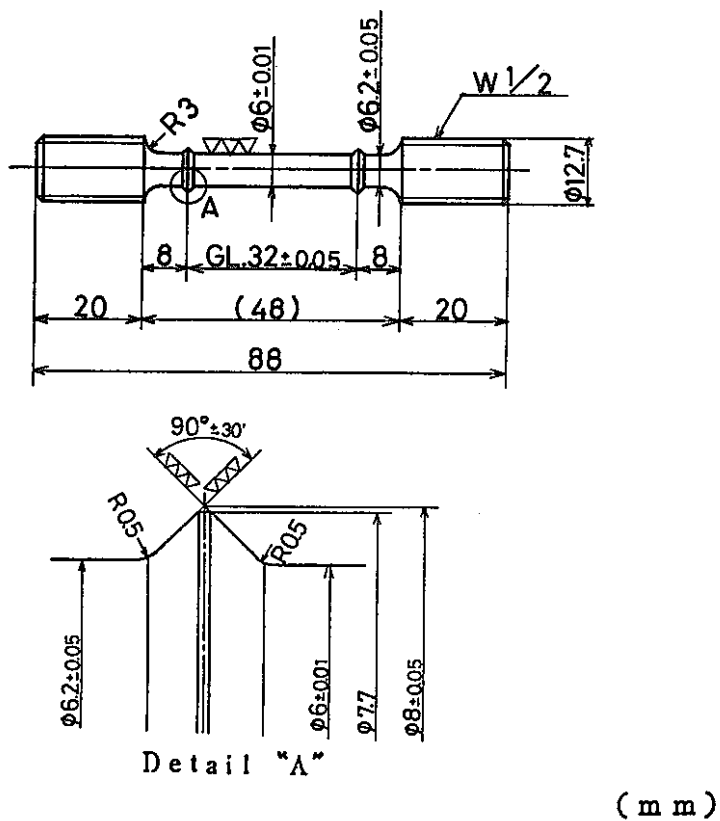
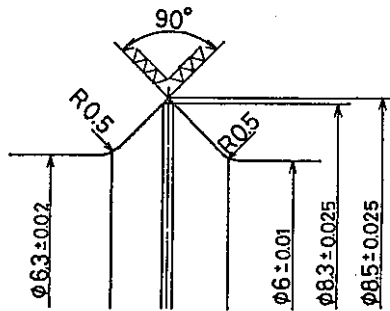
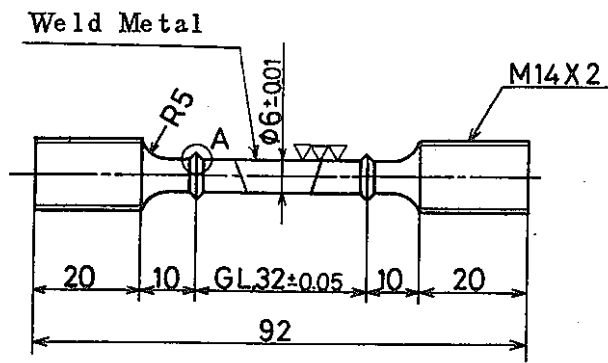
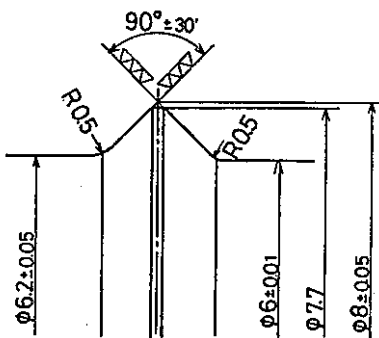
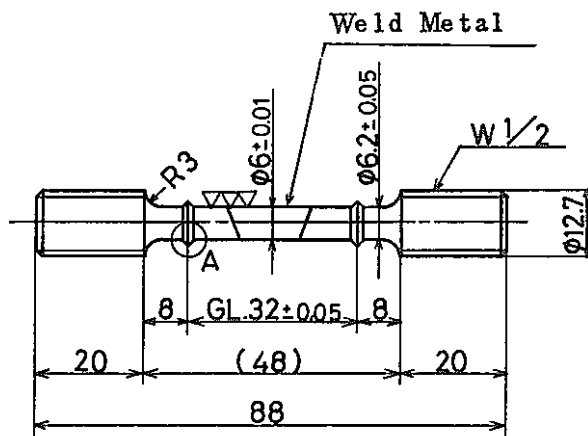


図 4.6 クリープ試験片の形状と寸法
 Fig.4.6 Shape and Size of Creep Test Specimen



Detail "A"

(a) Tensile Test Specimen



Detail "A"

(b) Creep Test Specimen

図 4.7 異材継手引張試験片の形状と寸法 (mm)

Fig.4.7 Shape and Size of Test Specimen for Dissimilar Welded Joint

表 4. 1 引張試験機仕様

Table 4.1 Specifications of Tensile Testing Machines

試験機 No. 装置名	E K 0 0 1 引張試験機
<p>試験機本体</p> <p>1) 型式</p> <p>2) 最大負荷量</p> <p>3) クロスヘッド 昇降速度</p>	<p>1) 島津製 IS-10 T型</p> <p>2) 10 TON</p> <p>3) 0.05~500 mm/min (19段)</p>
<p>加熱装置</p> <p>1) 型式</p> <p>2) 使用温度範囲</p> <p>3) 発熱体</p> <p>4) 容量</p>	<p>1) 縦割型管状炉</p> <p>2) 200 ~ 1200 °C</p> <p>3) カンタルA-1線 (上, 中, 下 3回路)</p> <p>4) 5 kW</p>
<p>温度調節装置</p> <p>1) 型式</p> <p>2) 温度範囲</p> <p>3) 温度調節精度</p>	<p>1) SCRの位相制御による連続比例制御方式</p> <p>2) 200 ~ 1200 °C</p> <p>3) ± 2 °C</p>
<p>測定記録装置</p> <p>1) 温度記録装置</p> <p>2) 伸び測定装置</p>	<p>1) 干野製熱電式温度記録計 DS141型 島津電気計測器製携帯用熱電温度指示計 145型</p> <p>2) 島津製XYレコーダ XYT-2型</p>

表 4. 2 クリープ試験機仕様

Table 4.2 Specifications of Tensile Testing Machines

試験機番号		FK001~FK010 (S. 52年度PNC殿) (貸与試験機)	FK011~FK025 (S. 53年度および54年度) (PNC殿貸与試験機)
試験機本体	型 式	東京衡機製縦型レバー式	
	最大負荷量	3 t o n	
	荷 重 精 度	最大負荷量の 5 ~ 50%で±0. 5% 最大負荷量の50~100%で±0. 3%	
加 熱 装 置	型 式	縦割型管状炉	
	使用温度範囲	300~850℃ (常用最高 800℃)	300~1100℃ (常用最高 1000℃)
	発 熱 体	カンタル Al線 (上, 中, 下 3分割)	
	容 量	3 kW	5 kW
温度調節装置	型 式	SCRの位相制御による連続比例制御方式	
	温 度 範 囲	100~900℃	300~1100℃
	温度調節精度	±2℃	
温度記録測定装置	熱 電 対	13%PR (φ 0.5)	
	温度記録装置	12打点熱電温度記録計 デジタルマルチ温度計	
伸び記録測定装置	伸び検出器	差動変圧器	Inductive Transducer
	伸び記録装置	12打点mV記録計 デジタルプリンタ	

表 4. 3 疲労試験機仕様

Table 4.3 Specifications of Fatigue Testing Machine

試験機番号		H K 0 0 1 (昭和53年度PNC殿貸与試験機)
試験機 本体	ロードフレーム	±10ton (動的), ±10ton (静的), 油圧昇降・締結 (EA10型)
	ロードセル	±10ton, ストレインゲージ式
	油圧加振器	±10ton, ストローク100mm (±50mm)
	サーボバルブ	210kg/cm ² , 5GPM
	グリップ	メカニカルグリップ, 水冷ジャケット付
加熱装置	加熱方式	高周波誘導加熱方式
	最高加熱温度	1200℃
	温度コントローラ	P. I. D方式
	温度記録計	3ペン式記録計
コンピュータおよび 制御装置	プロセッサ	メモリー: コア16k語, IC8k語, 計24k語 ソフトウェア: BASIC言語使用
	補助記録装置	フロッピーディスク (256k語)
	インターフェイス	D-A変換器 (2ch), A-D変換器 (8ch) フィールドバックセレクターおよびループゲインはいずれもプログラマブル
	周辺機器	グラフィックターミナル ハードコピーユニット
	サーボコントローラ	PID方式
	記録計	1ペン式X-Yレコーダ
伸び計	軸伸び計	差動トランス型 Max. ±1mm (4416EA)
	径伸び計	差動トランス型 Max. ±0.5mm (4417ED)
油圧	油圧ポンプ	210kg/cm ² , 9ℓ/min (QF-10型)
供給源	油圧ホース	高圧ゴムホース

5. SUS304鋼板EB溶接金属の基本材料特性試験結果

5.1 高温引張試験結果

SUS304鋼板EB溶接金属の高温引張試験結果を表5.1、破断後の試験片外観を写真5.1に示す。

図5.1、図5.2、図5.3、および図5.4はそれぞれSUS304鋼板EB溶接金属の0.2%耐力、引張強さ、破断伸びおよび絞りを示したものである。比較のためにSUS304EB溶接継手²⁾および母材データ^{5) 6)}も併記している。

溶接金属の0.2%耐力は母材より高目となっており、継手と比してもほぼ同等か若干高目の値となっている。一方、引張強さは、継手とのほぼ同等の値を示している。これは継手試験片の破断位置がすべて溶接金属部であったため、両試験で差が生じなかったと考えられる。

破断伸びおよび絞りとも母材に比して低目であり、継手と同等か若干低い値となっている。

図5.5～図5.8はR.T, 500℃, 550℃, 600℃における1.5%ひずみまでの真応力-真ひずみ特性を図示したものである。

表 5. 1 引張試験結果
Table 5.1 Results of Tensile Tests

材料	SUS 304		素材製造者	素材形状寸法				試験場所
			新日鉄	40' × 1000" × 1000'				川崎重工業(株)
試験雰囲気			溶接法	熱処理				
大気			E B	_____				
化 学 成 分								(w t %)
C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Co	
0.05	0.59	0.87	0.027	0.003	8.98	18.47	0.12	
温 度 (°C)	分 類	試験片 番 号	引 張 試 験 結 果					破 断 位 置 (JIS Z-2241)
			0.2%耐力 (kgf/mm ²)	引張強さ (kgf/mm ²)	破断伸び (%)	絞 り (%)		
RT	EB溶金	TWEB08	24.90	65.75	66.87	57.09	A	
"	"	" 09	24.98	66.10	60.46	57.84	A	
500	"	" 01	17.17	38.03	29.68	48.67	A	
"	"	" 02	17.90	40.51	28.13	46.82	A	
550	"	" 03	15.12	35.14	30.63	44.71	B	
"	"	" 04	16.37	36.53	30.63	49.83	A	
600	"	" 05	14.24	29.20	24.06	40.82	B	
"	"	" 06	15.07	31.00	28.13	46.64	A	

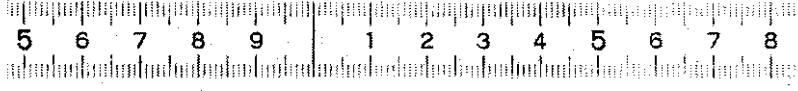


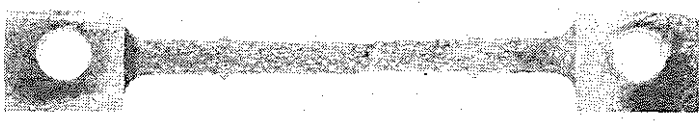



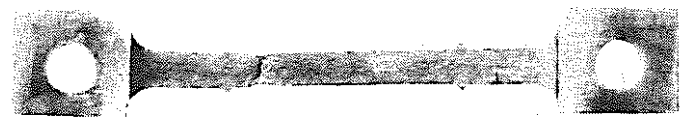

試験温度 (°C)	試験片番号	
R. T	TWEB08	
	TWEB09	
500	TWEB01	
	TWEB02	
550	TWEB03	
	TWEB04	
600	TWEB05	
	TWEB06	
試験材料		SUS304 EB溶接金属

写真5.1 破断後のSUS304 EB溶接金属引張試験片外観
 Photo. 5.1 Appearance after Tensile Tests for SUS304 EB Weld Metal

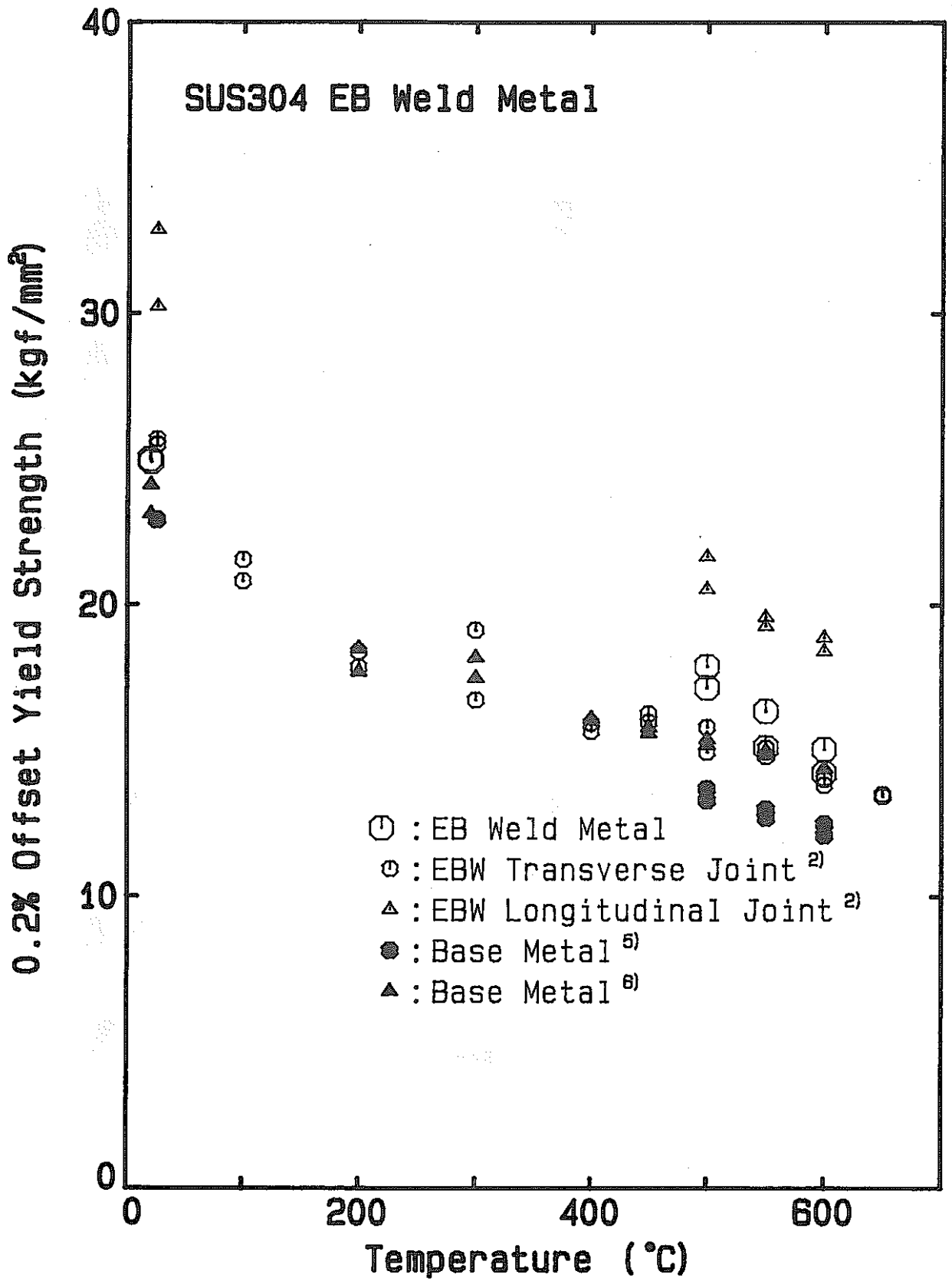


図 5.1

SUS304EB 溶接金属の 0.2% 耐力

Fig.5.1

0.2% Offset Yield Strength for SUS304 EB Weld Metal

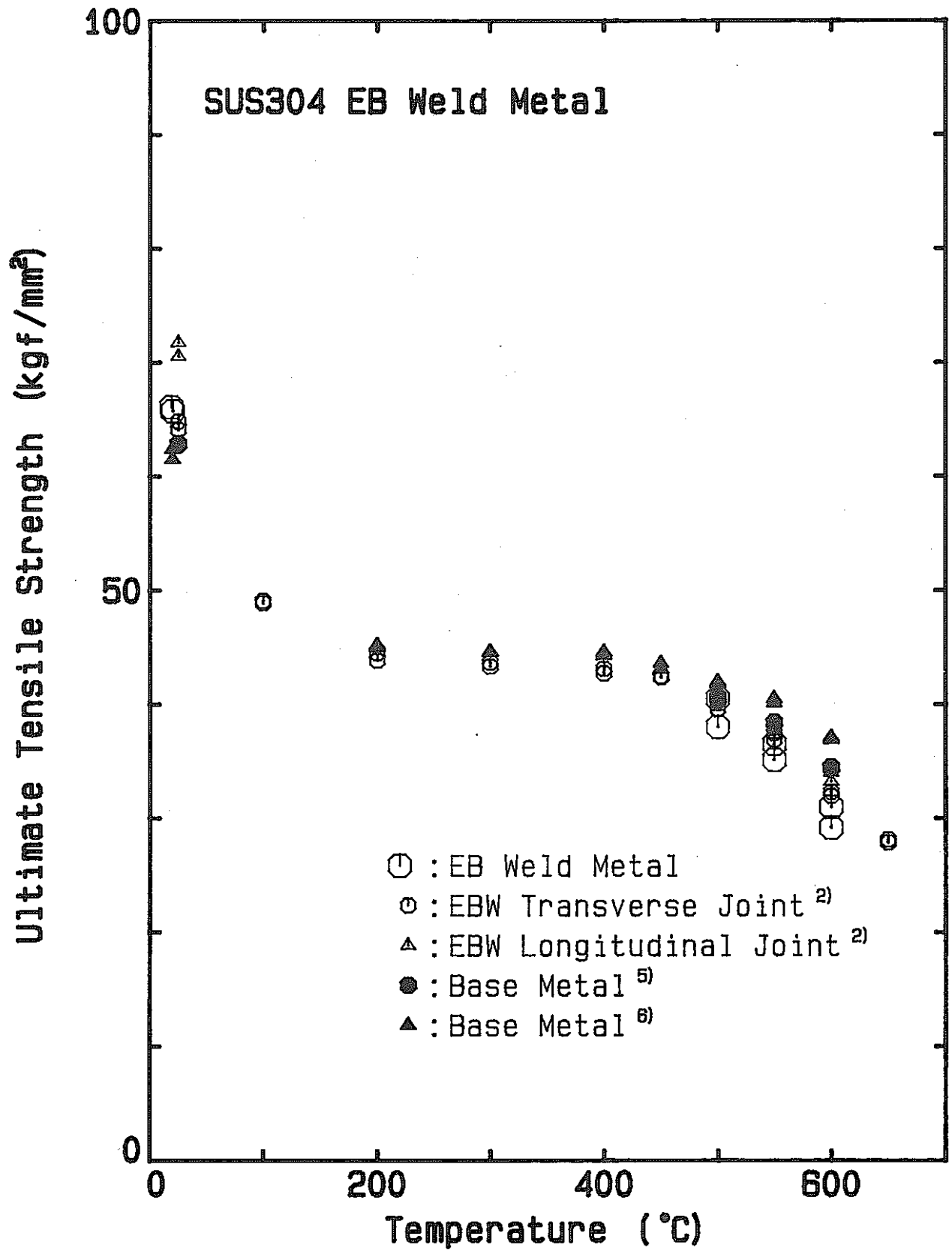


図 5.2

SUS304EB 溶接金属の引張強さ

Fig.5.2

Ultimate Tensile Strength for SUS304 EB Weld Metal

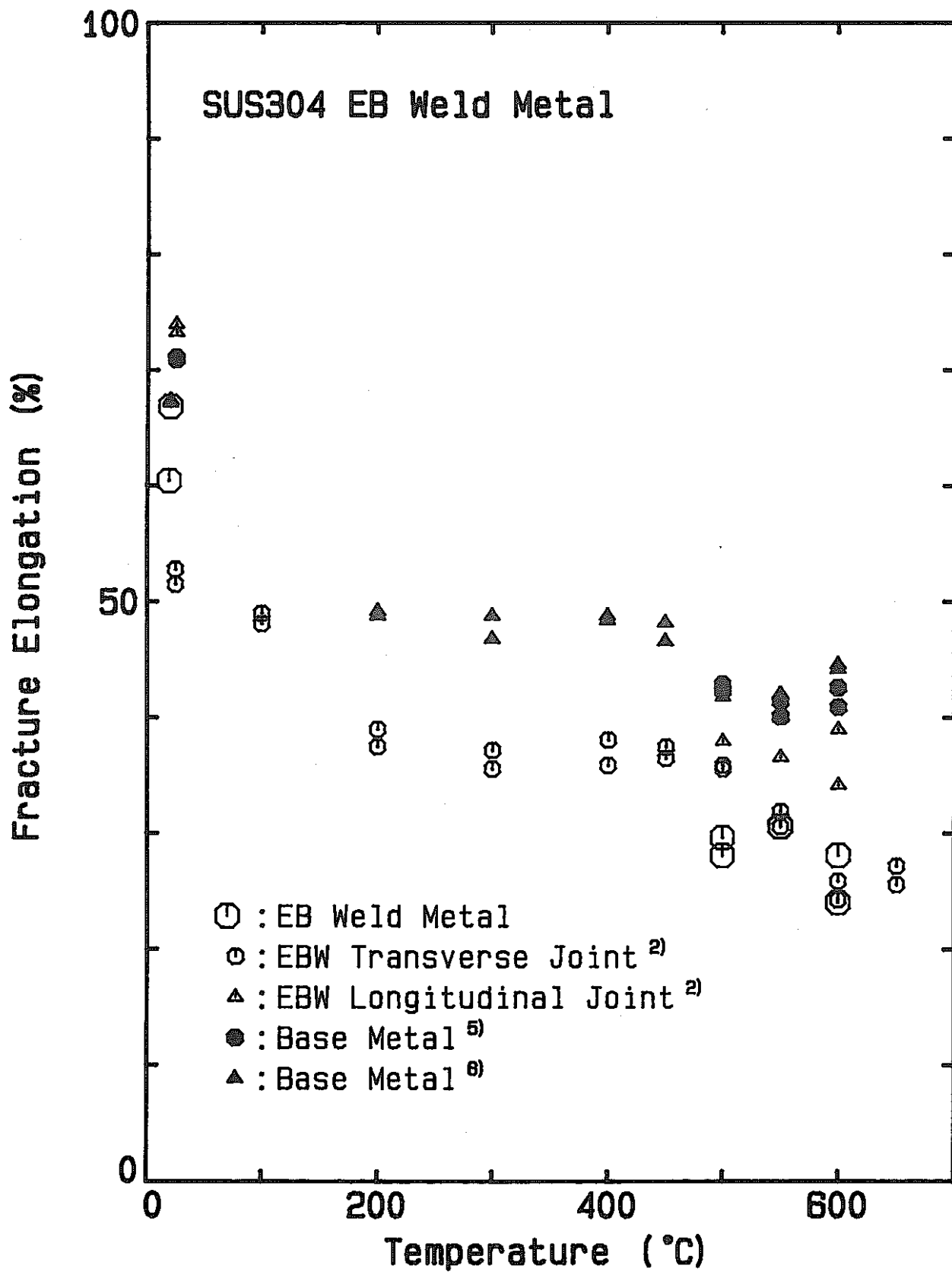


図 5.3

SUS304EB 溶接金属の引張破断伸び

Fig.5.3

Fracture Elongation for SUS304 EB Weld Metal

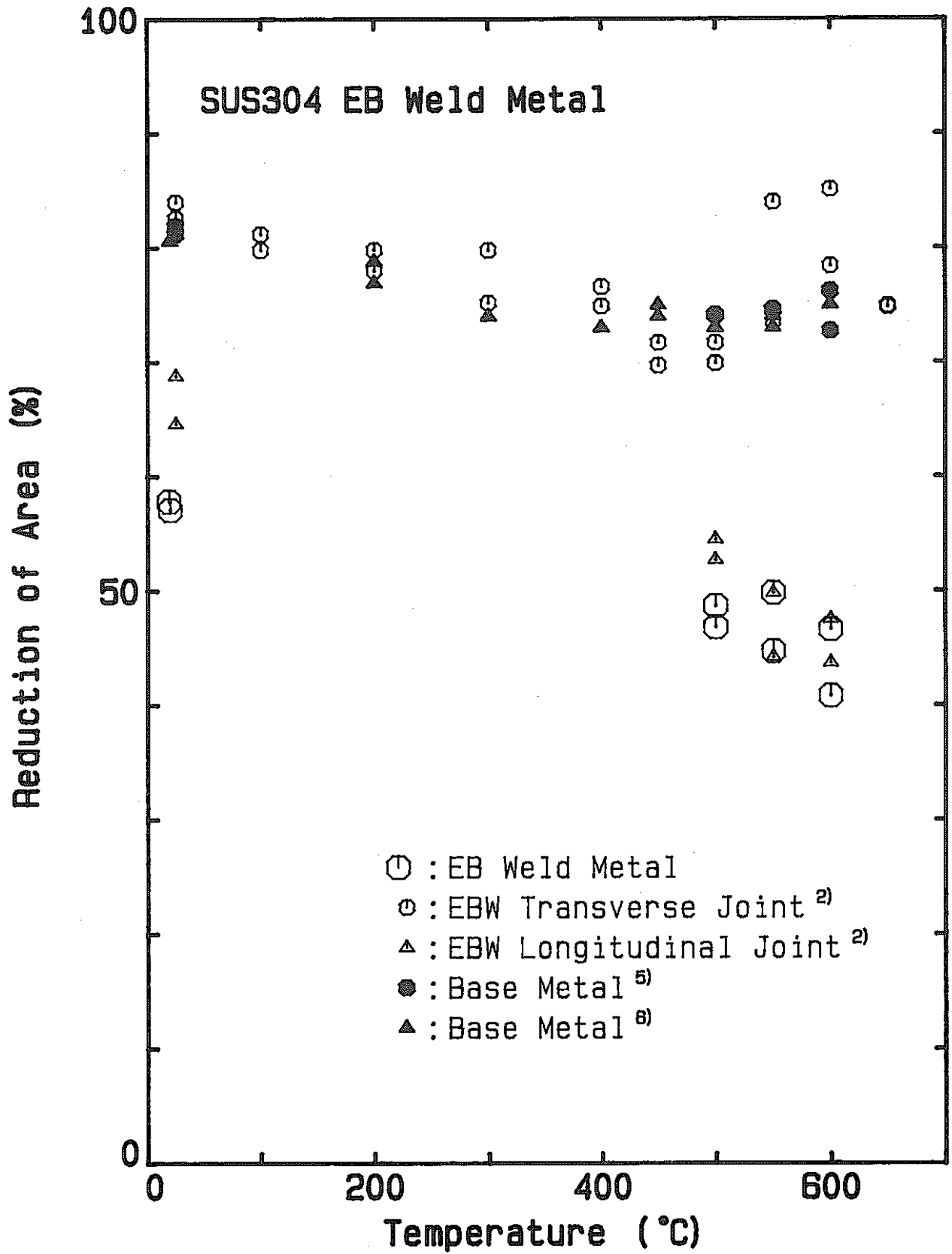


図 5.4 SUS304EB 溶接金属の引張破断絞り

Fig.5.4 Reduction of Area for SUS304 EB Weld Metal

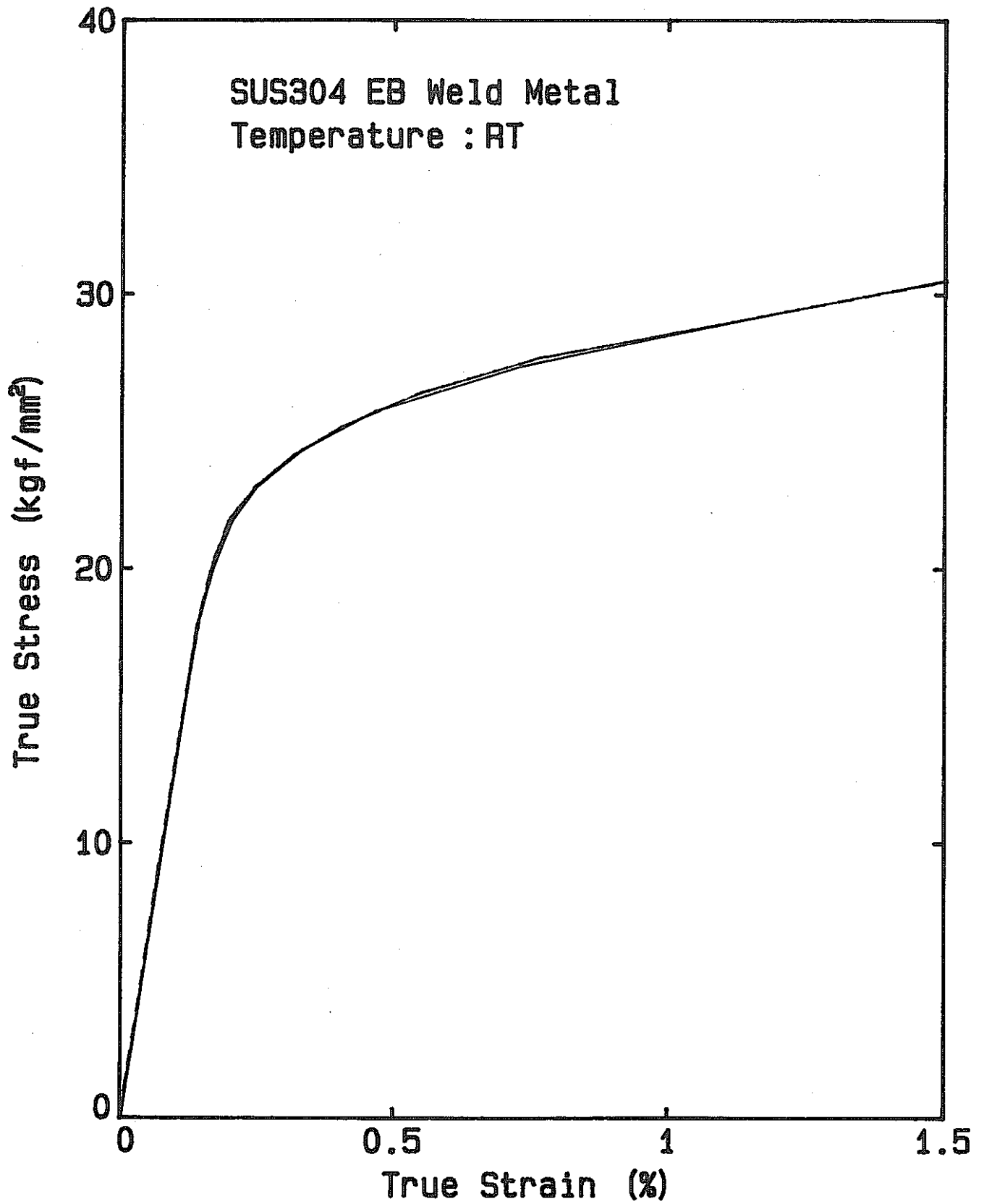


図 5.5 室温における SUS304EB 溶接金属の真応力 - 真ひずみ特性
 Fig.5.5 True Stress-True Strain Curves at R.T for SUS304 EB Weld Metal

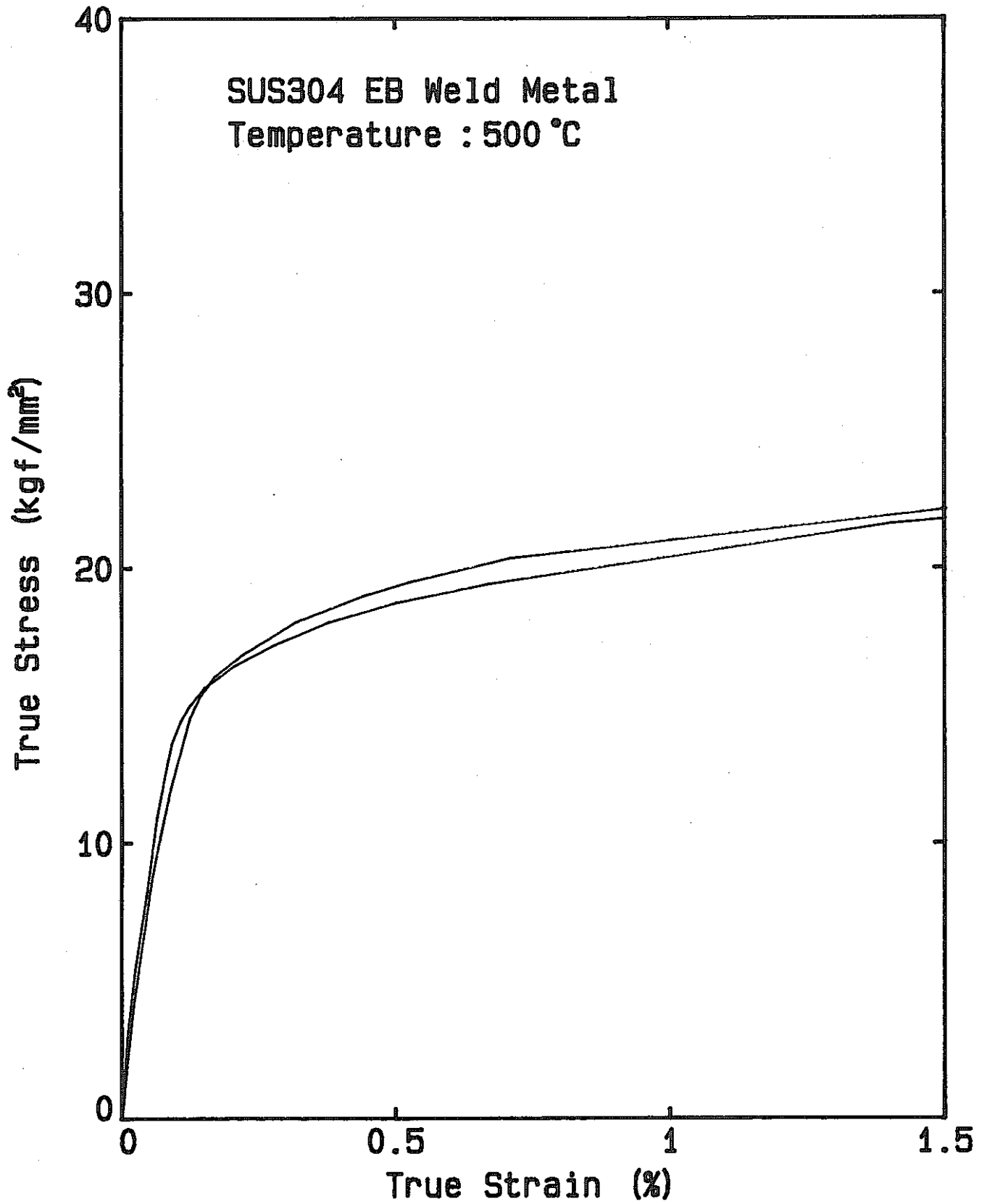


図 5.6 500°C における SUS304EB 溶接金属の真応力 - 真ひずみ特性

Fig.5.6 True Stress-True Strain Curves at 500°C for SUS304 EB Weld Metal

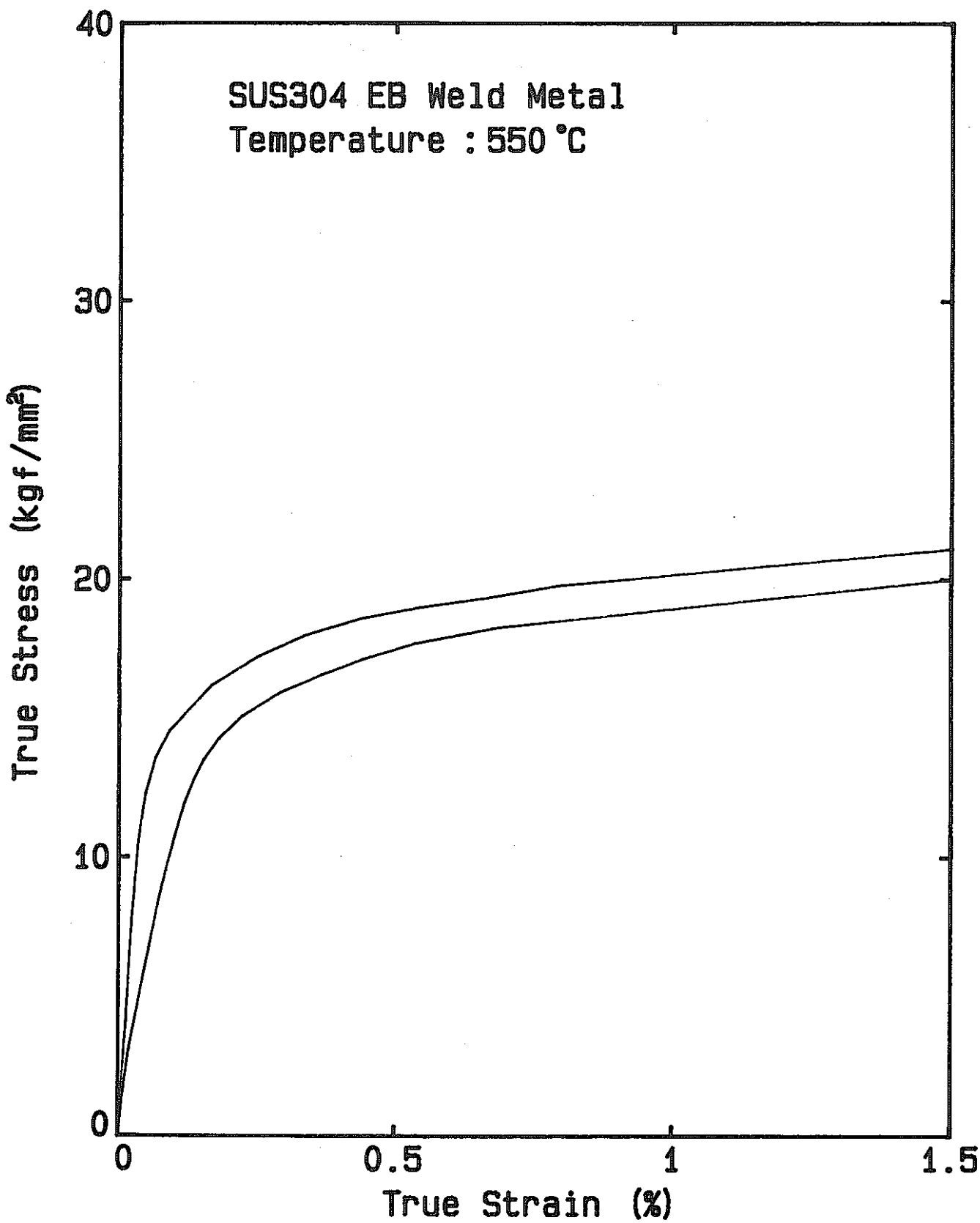


図 5.7 550°C における SUS304EB 溶接金属の真応力 - 真ひずみ特性
 Fig.5.7 True Stress-True Strain Curves at 550°C for SUS304
 EB Weld Metal

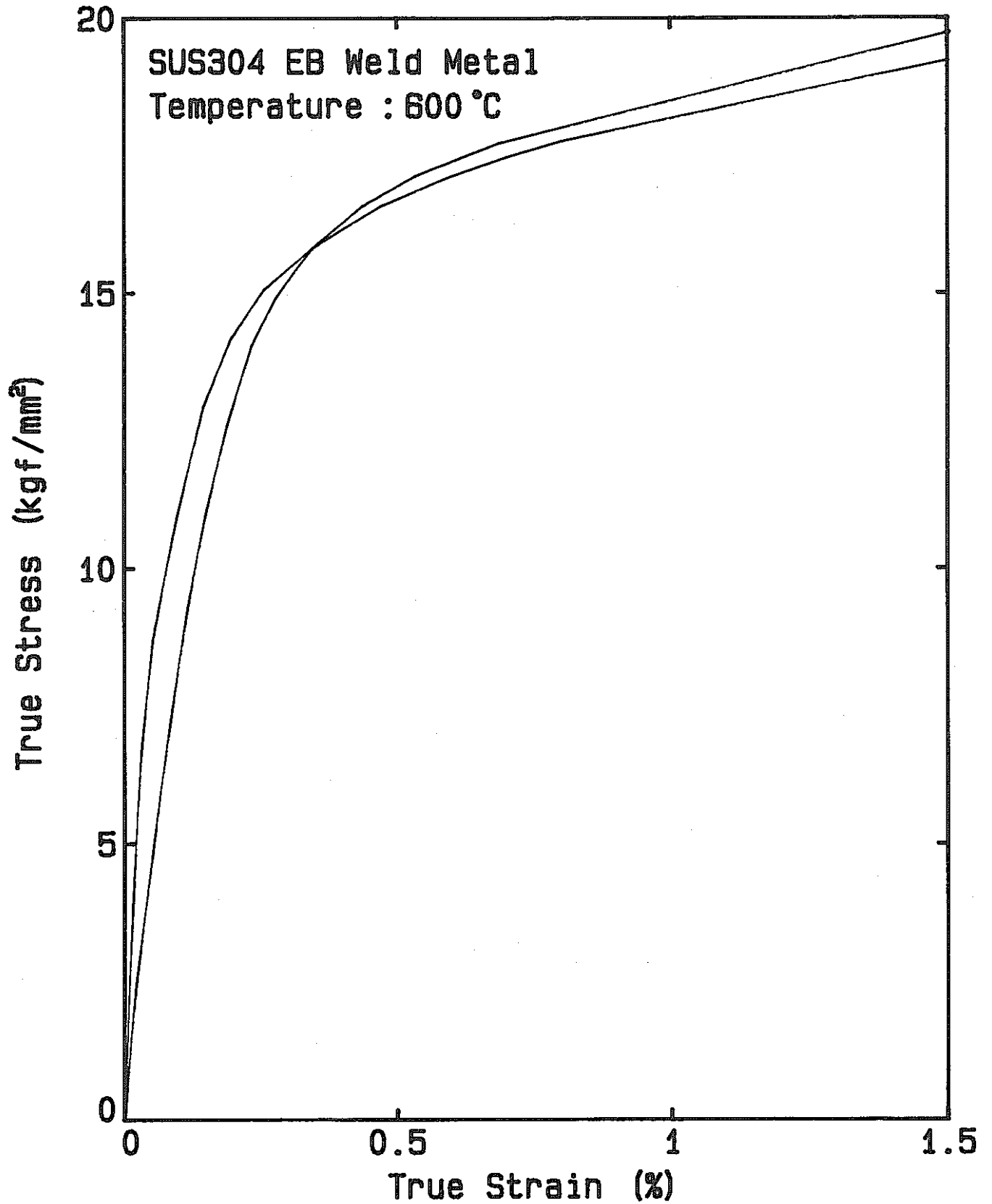


図 5.8 600°C における SUS304EB 溶接金属の真応力 - 真ひずみ特性
 Fig.5.8 True Stress-True Strain Curves at 600°C for SUS304
 EB Weld Metal

5. 2 クリープ試験結果

SUS304鋼板EB溶接金属のクリープ試験結果一覧を表5. 2、破断後の試験片外観を写真5. 2および写真5. 3に示す。また500℃、550℃および600℃におけるクリープ曲線を両対数表示で図5. 9、図5. 10および図5. 11、真数表示で図5. 12、図5. 13および図5. 14にそれぞれ示す。今回の試験結果をSUS304EB溶接金属継手および母材データ^{7) 8)}と比較した。以下の図には継手および母材データも併記している。

図5. 15、図5. 16および図5. 17は500℃、550℃および600℃のクリープ破断時間と応力の関係を示したものである。溶接金属は継手データ⁹⁾とほぼ同等か若干弱目で母材データ⁷⁾と比較すると若干強度が下回っている。

図5. 18、図5. 19および図5. 20は500℃、550℃および600℃の定常クリープ速度と応力の関係を示したものである。溶接金属は継手⁹⁾とほぼ同等で母材^{7) 8)}よりやや低目である。

図5. 21、図5. 22および図5. 23は500℃、550℃および600℃の破断伸びと破断時間の関係を示したものである。

表5.2 クリープ試験結果 (1/3)

Table 5.2 Results of Creep Tests (1/3)

材料SUS304			化学成分 (wt%)							溶接法				
材料製造者			C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Co	EB			
新日鉄			0.05	0.59	0.87	0.027	0.003	8.98	18.47	0.12	試験雰囲気		試験場所	
素材形状寸法			熱処理							大気		川崎重工業㈱		
40 ^t × 1000 ^ω × 1000 ^ℓ														
温度 (°C)	分類	試験片番号	応力 (kgf/mm ²)	破断時間 (h)	破断伸び (%)	絞り (%)	破断位置 ^{*1} (JIS Z-2241)	負荷完了 時ひずみ (%)	定常クリープ 速度 (%/h)	三次クリープ 開始時ひずみ (%)	三次クリープ 開始時間 (hr)	一次クリープ ひずみ (%)		
500	EB横継手	CXEB02 ^{*2}	34	177	23.2	56.7	WM	12.1	0.006	12.9	93.8	0.05		
500	〃	CXEB01 ^{*2}	28.5	1079.	15.4	30.4	WM	6.	3.78 × 10 ⁻³	9.8	960.	0		
500	〃	CXEB03 ^{*3}	25	4430.1	13.4	14.2	WM	4.7	8.11 × 10 ⁻⁴	8.1	3730.	0.18		
500	〃	CXEB04 ^{*3}	23.5	7905	13.1	13.3	WM	2.9	4.08 × 10 ⁻⁴	5.7	6485.	0		
500	〃	CXEB05	22	>15000										
500	EB縦継手	CYEB1 ^{*2}	34	103.6	20.2	22.6	B	7	3.06 × 10 ⁻²	9.9	96.	0		
500	〃	CYEB2	22	12398.2	15.5	27.7	B	0.78	2.37 × 10 ⁻⁴	4.7	12365.1	0.81		
500	EB溶金	CWEB1	34	141.7	27.0	58.9	B	11.7	5.04 × 10 ⁻³	12.0	34.2	0		
500	〃	CWEB2	28.5	785.5	31.8	58.3	B	5.7	4.53 × 10 ⁻³	6.4	95.4	0.01		

*1 横継手試験片の破断位置は次の記号で示す。(BM: 母材, WM: 溶接金属, FL: ボンド部, HAZ: 熱影響部)

*2 昭和60年度完了

*3 昭和61年度完了

表5.2 クリープ試験結果 (2/3)
Table 5.2 Results of Creep Tests (2/3)

材料SUS304				化学成分 (wt%)						溶接法				
材料製造者				C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Co	EB		
新日鉄				0.05	0.59	0.87	0.027	0.003	8.98	18.47	0.12	試験雰囲気		試験場所
素材形状寸法				熱処理						大気		川崎重工業㈱		
40 ^t × 1000 ^ω × 1000 ^ℓ														
温度 (°C)	分類	試験片番号	応力 (kgf/mm ²)	破断時間 (h)	破断伸び (%)	絞り (%)	破断位置 (JIS Z-2241)	負荷完了 時ひずみ (%)	定常クリープ 速度 (%/h)	三次クリープ 開始時ひずみ (%)	三次クリープ 開始時間 (hr)	一次クリープ ひずみ (%)		
550	EB横継手	CXEB07* ²	25.7	122.6	19.8	64.2	WM	5.93	5.82×10 ⁻²	11.8	88.4	0.56		
550	"	CXEB06* ³	20.	2098.7	10.9	41.4	WM	1.93	2.1 × 10 ⁻³	6.3	1593.9	0.82		
550	"	CXEB08* ³	17.5	6880.	8.0	25.3	WM	1.25	4.46×10 ⁻⁴	4.09	4415.5	0.67		
550	"	CXEB09	16.3	13229.	13.9	24.1	WM	0.73	1.70×10 ⁻⁴	3.6	13035.6	0.45		
550	"	CXEB10	15.	>15000				0.48						
550	EB縦継手	CYEB3* ²	25.7	114.	21.2	22.3	B	8.7	8.54×10 ⁻²	17.5	89.3	1.		
550	"	CYEB4	15.	10823.8	17.07	20.0	B	0.16	1.15×10 ⁻⁴	1.8	8908.3	0.15		
550	EB溶金	CWEB3	25.7	51.4	38.5	68.1	B	5.81	0.461	22.8	35.0	0.63		
550	"	CWEB4	20.	763.2	31.5	64.7	B	1.42	2.01×10 ⁻²	12.1	475.5	0.89		

*1 横継手試験片の破断位置は次の記号で示す。(BM: 母材, WM: 溶接金属, FL: ボンド部, HAZ: 熱影響部)

*2 昭和60年度完了

*3 昭和61年度完了

表5.2 クリープ試験結果 (3/3)
Table 5.2 Results of Creep Tests (3/3)

材料SUS304			化学成分 (wt%)							溶接法				
材料製造者			C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Co	EB			
新日鉄			0.05	0.59	0.87	0.027	0.003	8.98	18.47	0.12	試験雰囲気		試験場所	
素材形状寸法			熱処理							大気		川崎重工業㈱		
40 ^t × 1000 ^ω × 1000 ^ℓ														
温度 (°C)	分類	試験片番号	応力 (kgf/mm ²)	破断時間 (h)	破断伸び (%)	絞り (%)	破断位置 ^{*1} (JIS Z-2241)	負荷完了時ひずみ (%)	定常クリープ速度 (%/h)	三次クリープ開始時ひずみ (%)	三次クリープ開始時間 (hr)	一次クリープひずみ (%)		
600	EB横継手	CXEB12* ²	19.1	191.	23.	66.7	WM	2.3	5.96 × 10 ⁻²	12.3	184.	0.		
600	"	CXEB11* ²	16.	994.	16.4	34.	WM	0.74	1.03 × 10 ⁻²	6.9	550.	0.26		
600	"	CXEB13* ³	14.	3291.4	9.3	19.1	WM	0.35	1.34 × 10 ⁻³	4.5	2480.	0.6		
600	"	CXEB14* ³	13.	6523.3	6.1	20.	WM	0.27	1.91 × 10 ⁻⁴	2.0	4255.	0.68		
600	"	CXEB15	12.	>8000										
600	EB縦継手	CYEB5* ²	19.1	146.8	38.5	38.	B	0.25	6.72 × 10 ⁻²	4.9	66.3	0.02		
600	"	CYEB6	12.	9669.2	21.1	16.7	B	0	6.93 × 10 ⁻⁵	0.9	7581.1	0.15		
600	EB溶金	CWEB5	19.1	84.5	44.8	70.9	A	1.95	0.39	24.3	55.8	0.54		
600	"	CWEB6	16.	314.5	53.3	46.6	B	0.35	0.098	17.7	177.1	0		

*1 横継手試験片の破断位置は次の記号で示す。(BM: 母材, WM: 溶接金属, FL: ボンド部, HAZ: 熱影響部)
 *2 昭和60年度完了
 *3 昭和61年度完了


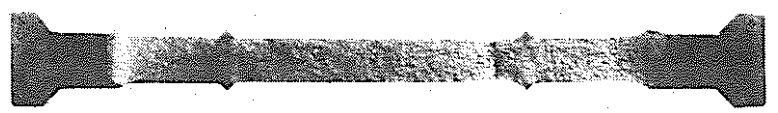




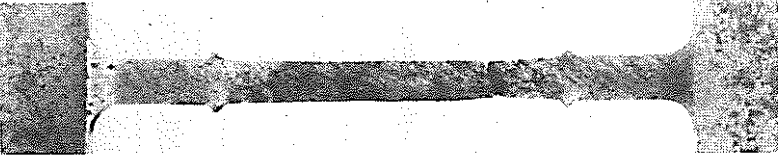
試験温度 (°C)	試験片番号	
500	C W E B 1	
	C W E B 2	
550	C W E B 3	
	C W E B 4	
600	C W E B 5	
	C W E B 6	
試験材料		SUS304 EB溶接金属

写真5. 2 破断後のSUS304EB溶接金属クリープ試験片外観

Photo. 5.2 Appearance after Creep Tests for SUS304 EB Weld Metal

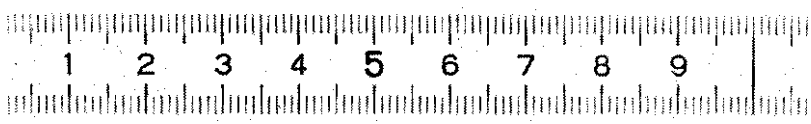
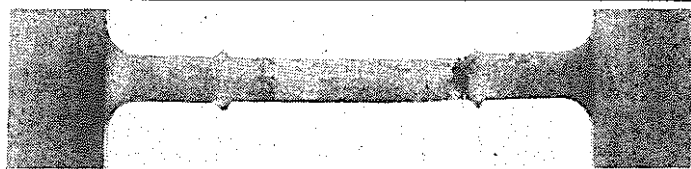
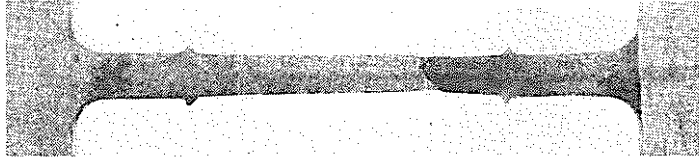

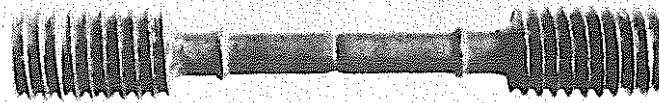
試験温度 (°C)	試験片番号	
500	CYEB2	
550	CYEB4	
600	CYEB6	
試験材料		SUS304 EB溶接縦継手
550	CXEB09	
試験材料		SUS304 EB溶接横継手

写真5.3 破断後のSUS304EB溶接継手クリープ試験片外観
 Photo. 5.3 Appearance after Creep Tests for SUS304 EB Welded Joint

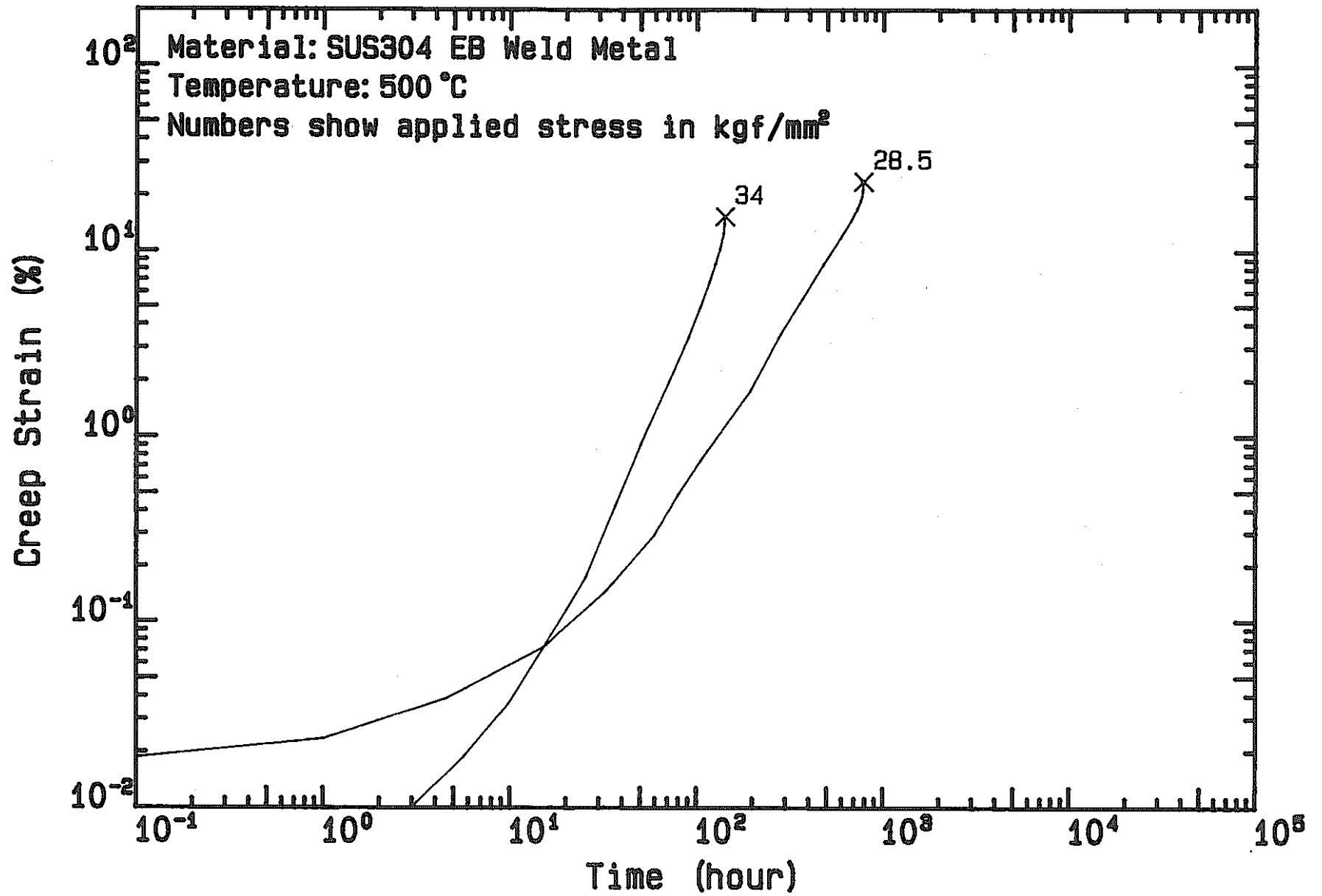


図 5.9 500°C における SUS304EB 溶接金属のクリープ曲線

Fig.5.9 Creep Curves at 500°C for SUS304 EB Weld Metal

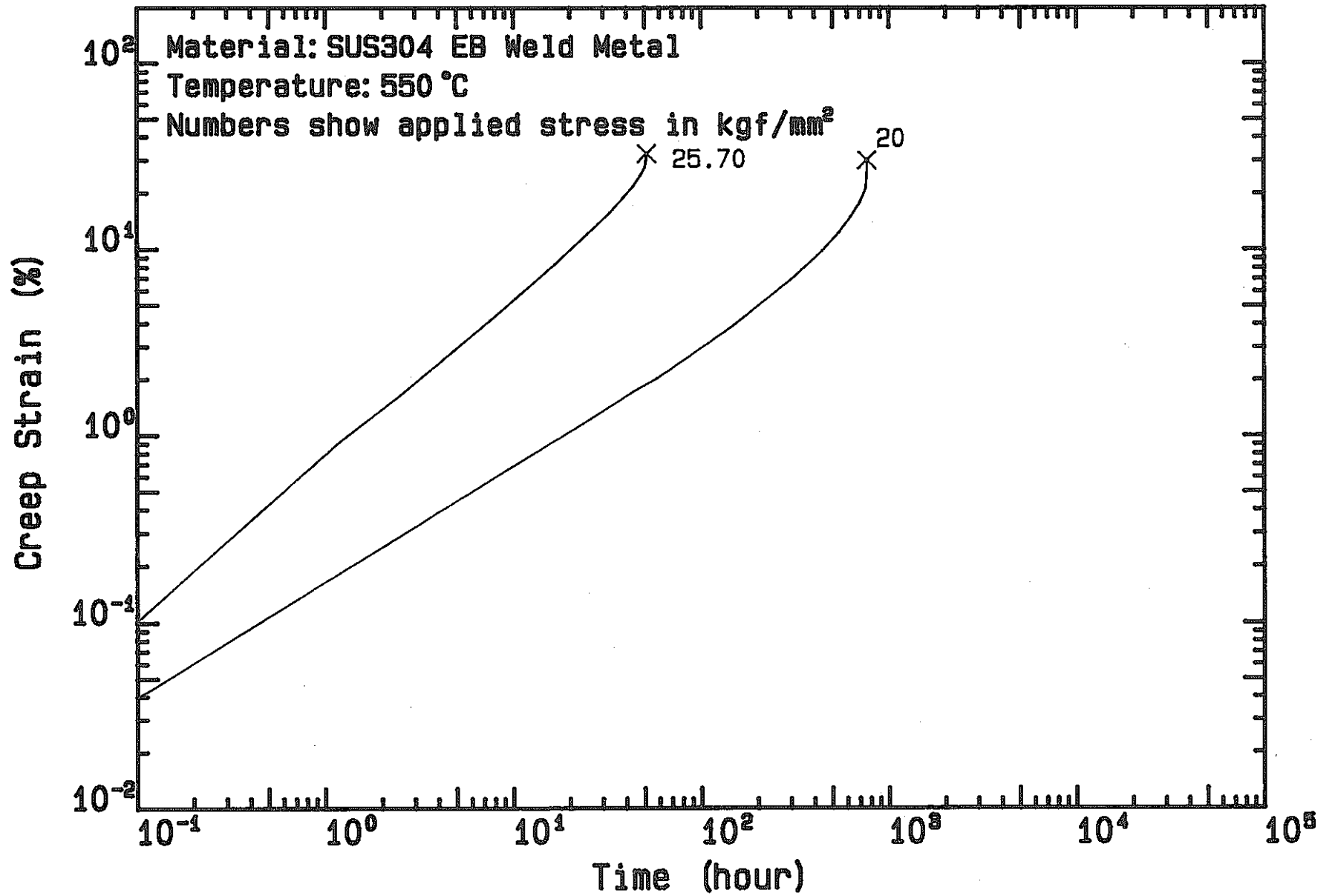


図 5.10 550°C における SUS304EB 溶接金属のクリープ曲線

Fig.5.10 Creep Curves at 550°C for SUS304 EB Weld Metal

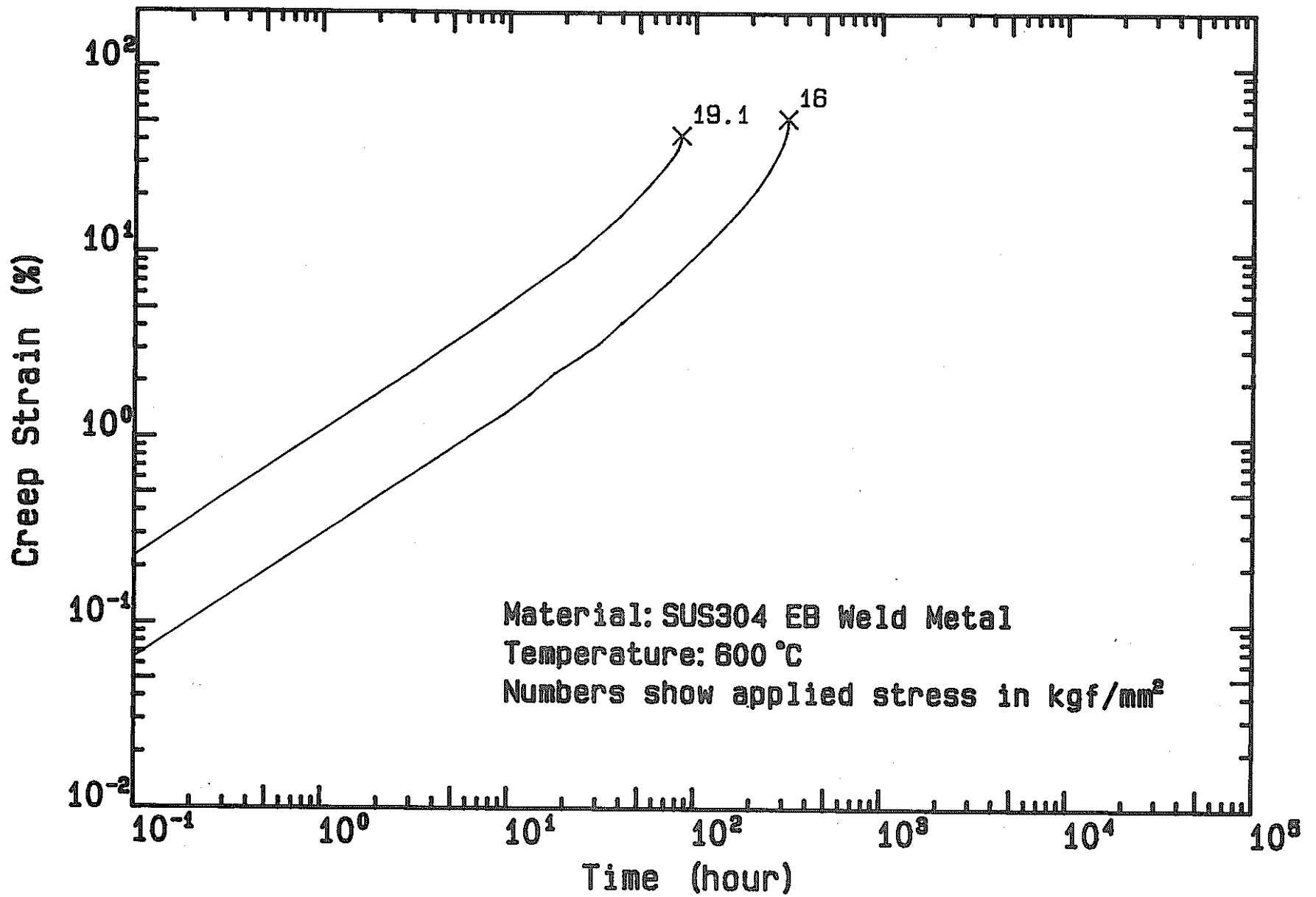


図 5.11 600°C における SUS304EB 溶接金属のクリープ曲線

Fig.5.11 Creep Curves at 600°C for SUS304 EB Weld Metal

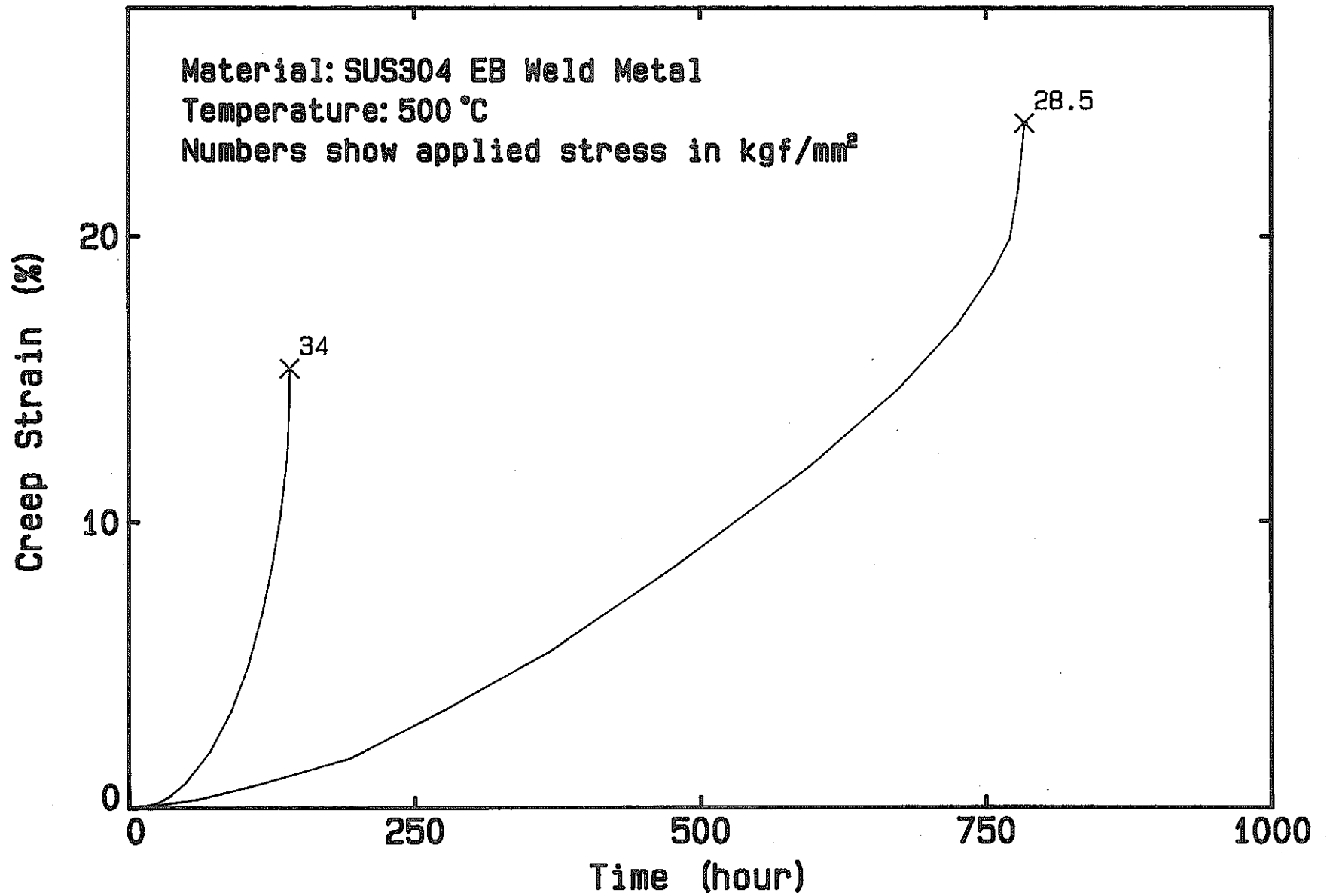


図 5.12 500°C における SUS304EB 溶接金属のクリープ曲線

Fig.5.12 Creep Curves at 500°C for SUS304 EB Weld Metal

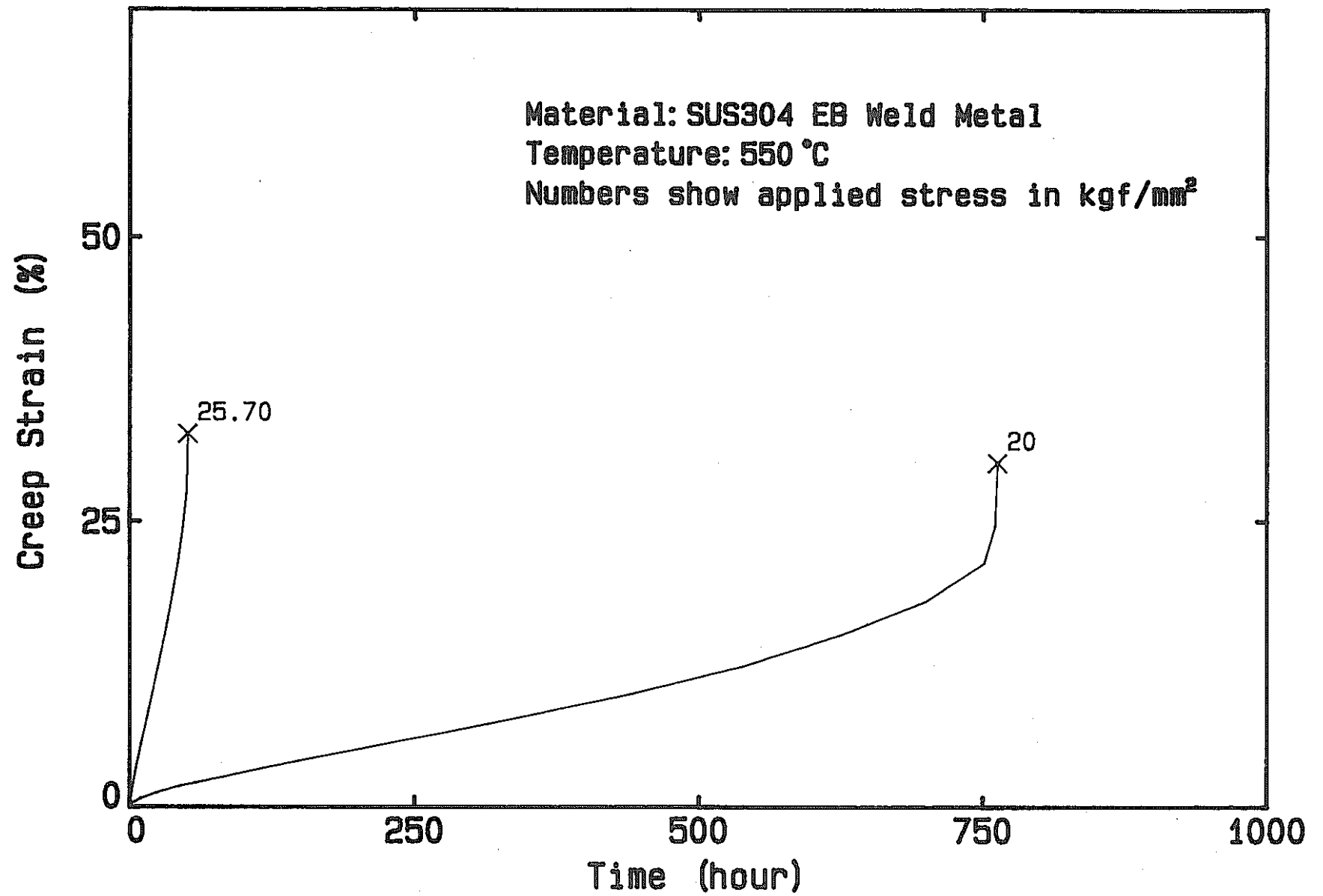


図 5.13 550°C における SUS304EB 溶接金属のクリープ曲線

Fig.5.13 Creep Curves at 550°C for SUS304 EB Weld Metal

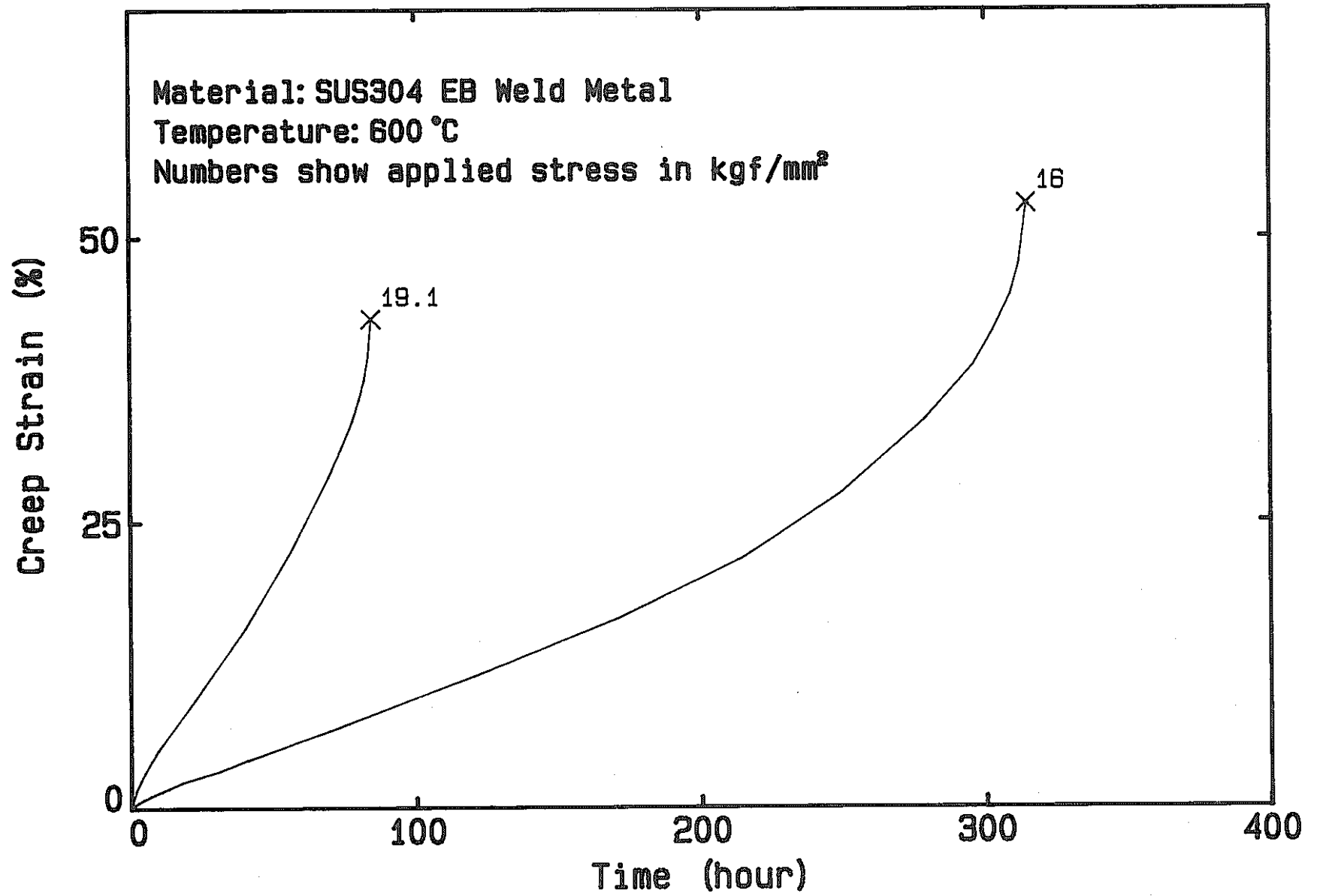


図 5.14 600°C における SUS304EB 溶接金属のクリープ曲線

Fig.5.14 Creep Curves at 600°C for SUS304 EB Weld Metal

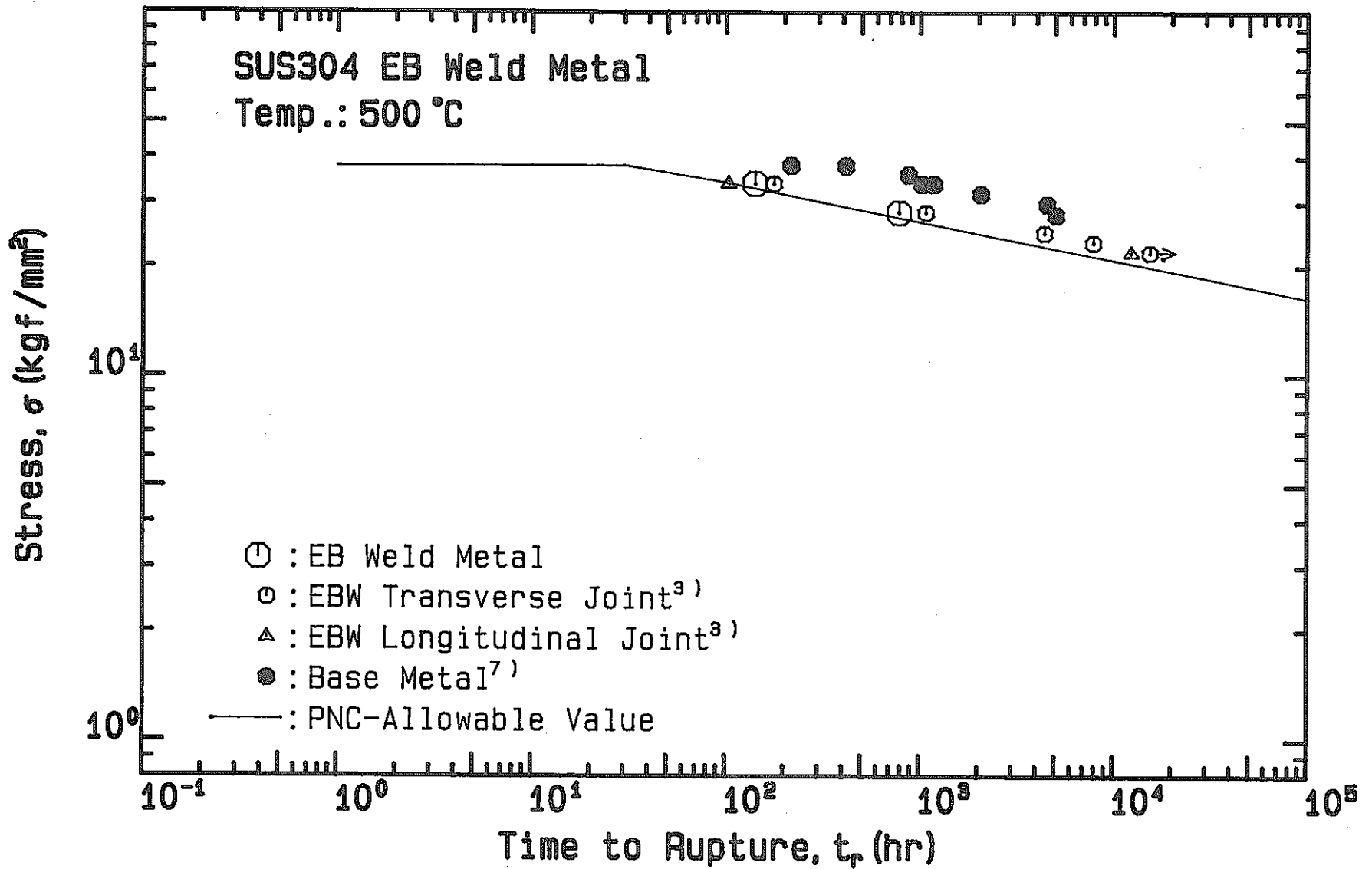


図 5.15 500°C における SUS304EB 溶接金属のクリープ破断時間

Fig.5.15 Creep Rupture Time at 500°C for SUS304 EB Weld Metal

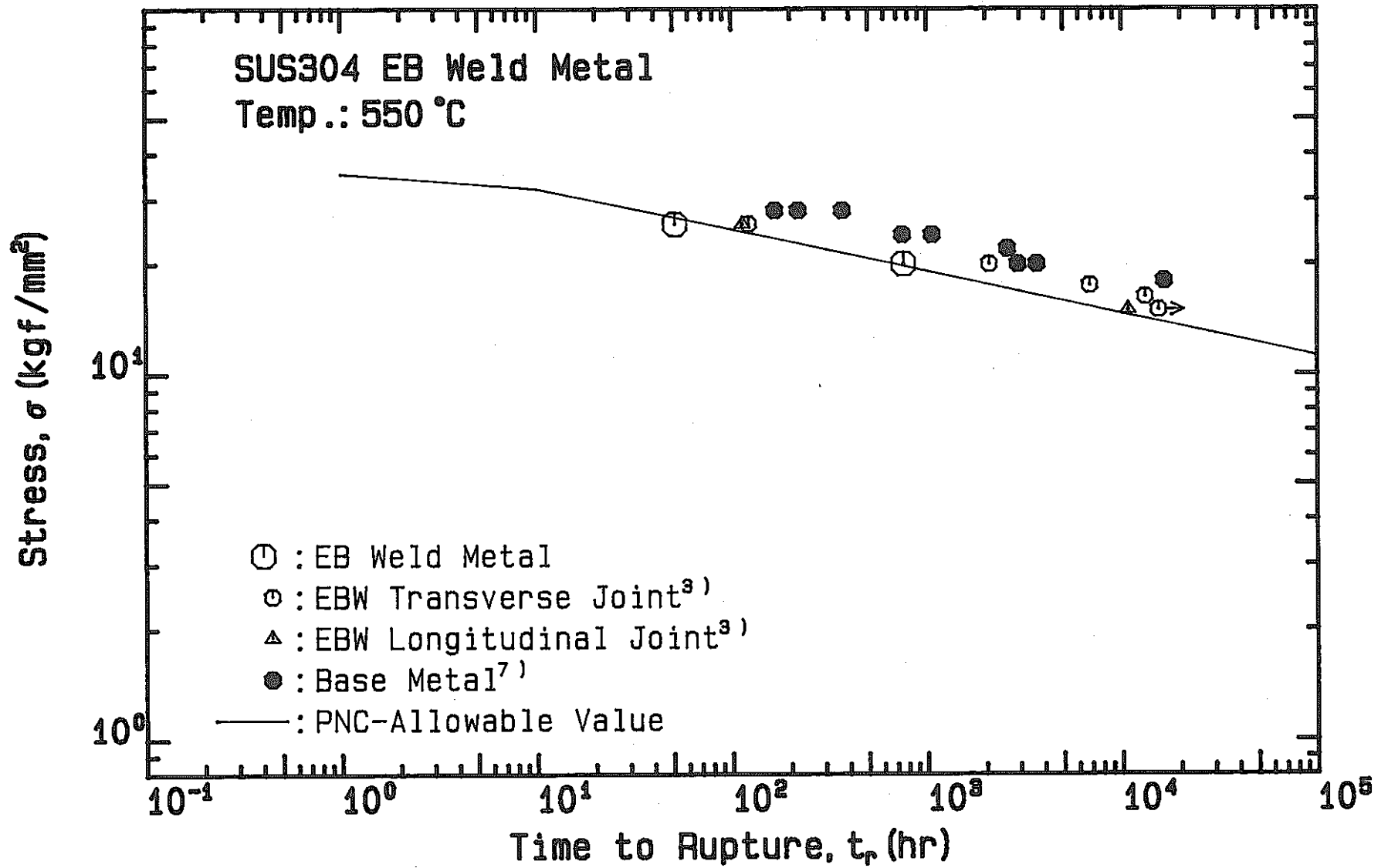


図 5.16 550°C における SUS304EB 溶接金属のクリープ破断時間

Fig.5.16 Creep Rupture Time at 550°C for SUS304 EB Weld Metal

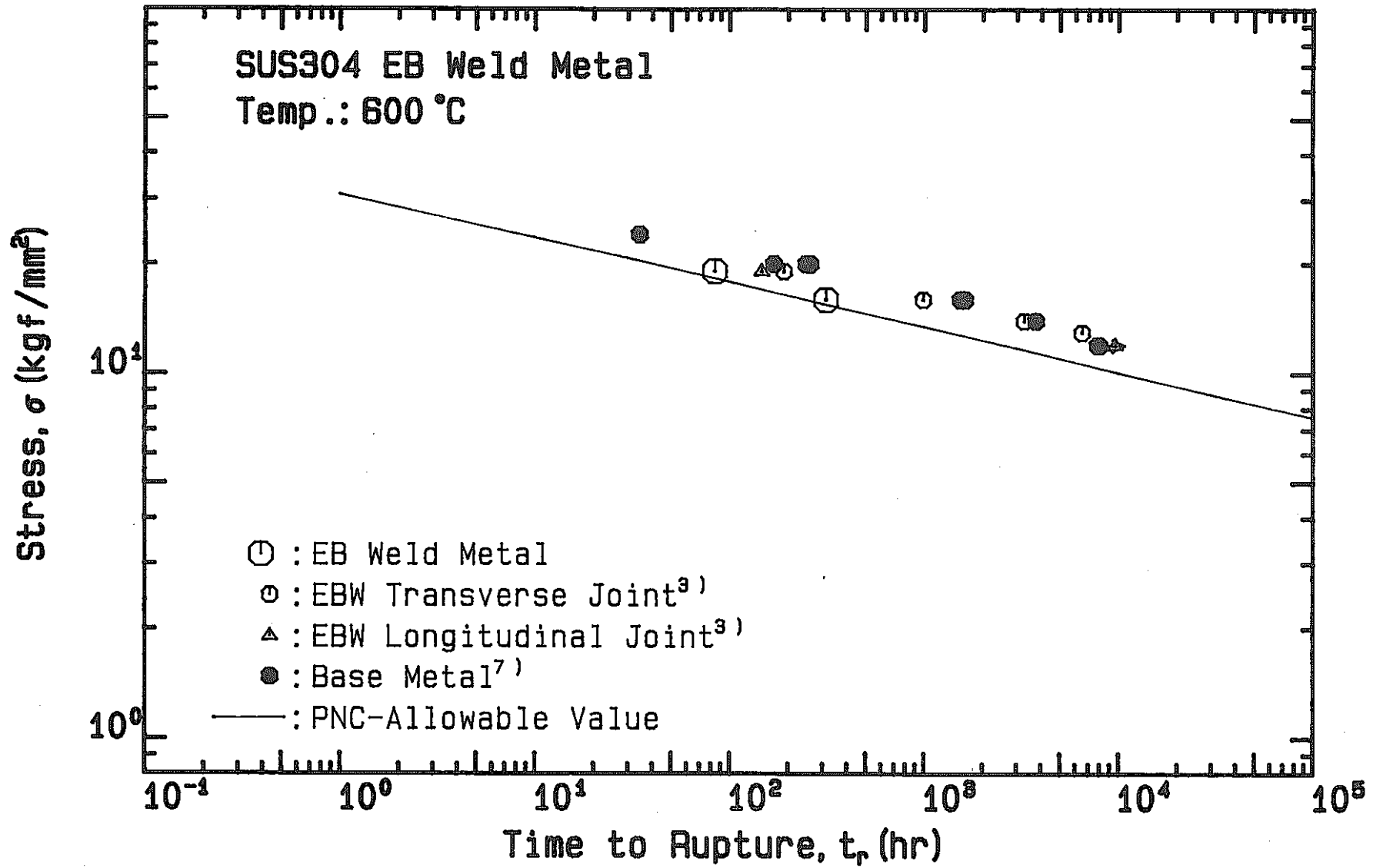


図 5.17 600°C における SUS304 EB 溶接金属のクリープ破断時間

Fig.5.17 Creep Rupture Time at 600°C for SUS304 EB Weld Metal

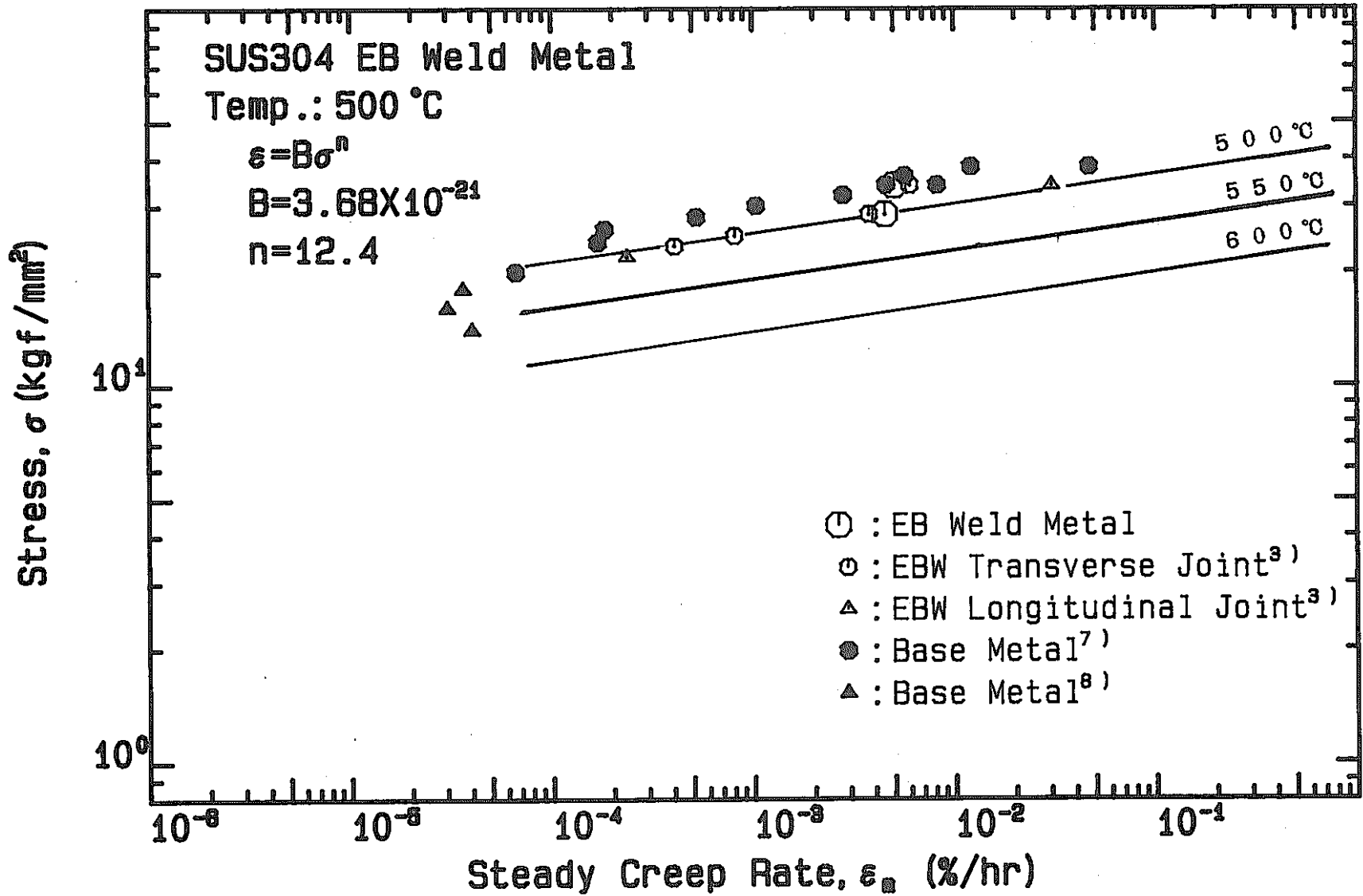


図 5.18 500°Cにおける SUS304EB 溶接金属の応力と定常クリープ速度の関係

Fig.5.18 Relation between Stress and Steady Creep Rate at 500°C for SUS304 EB Weld Metal

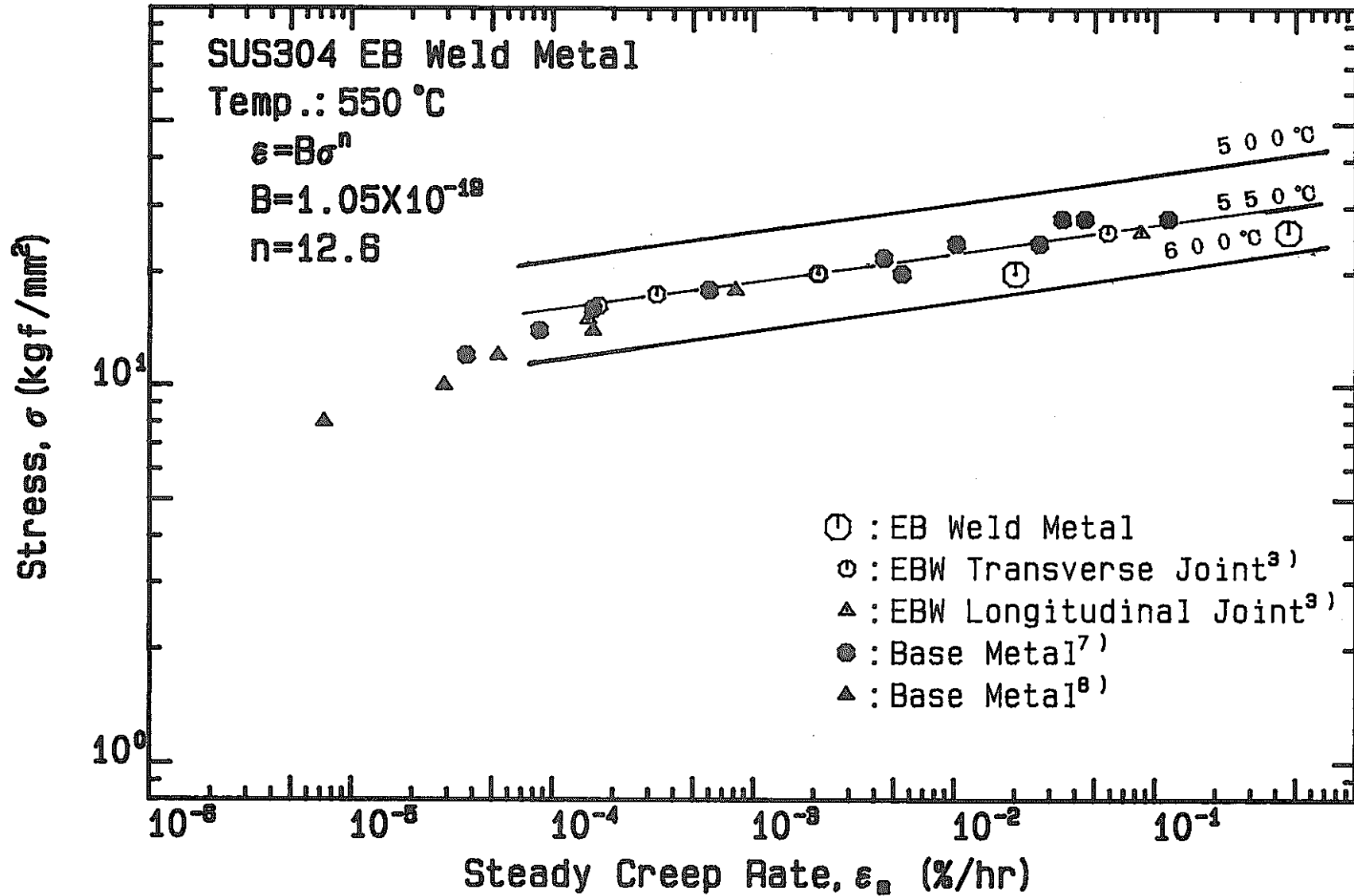


図 5.19 550°CにおけるSUS304EB溶接金属の応力と定常クリープ速度の関係

Fig.5.19 Relation between Stress and Steady Creep Rate at 550°C for SUS304 EB Weld Metal

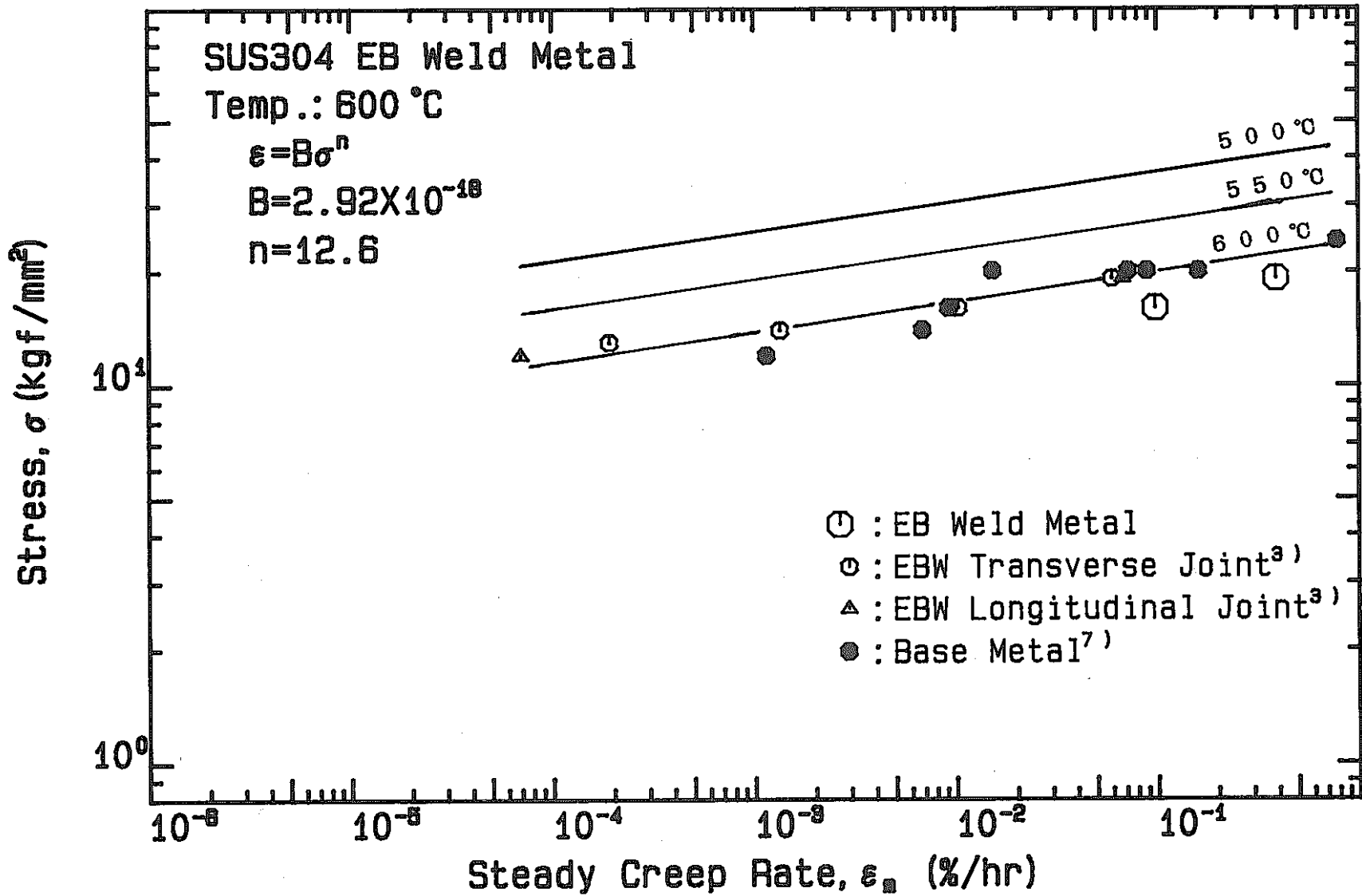


図 5.20

600°CにおけるSUS304EB溶接金属の応力と定常クリープ速度の関係

Fig.5.20

Relation between Stress and Steady Creep Rate at

600°C for SUS304 EB Weld Metal

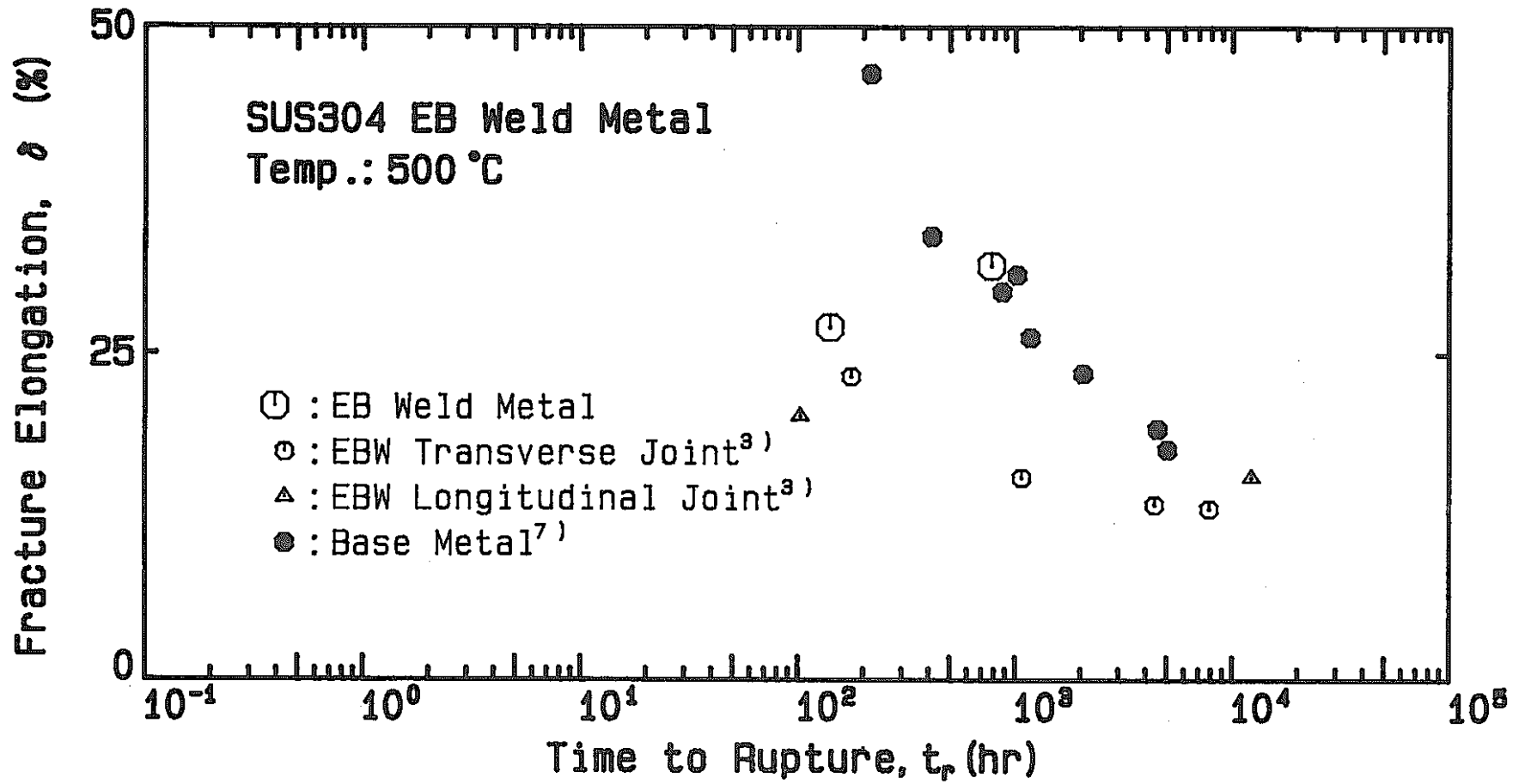


図 5.21 500 °C における SUS304EB 溶接金属の破断伸びと破断時間の関係

Fig.5.21 Relation between Fracture Elongation and Time to Rupture at 500 °C for SUS304 EB Weld Metal

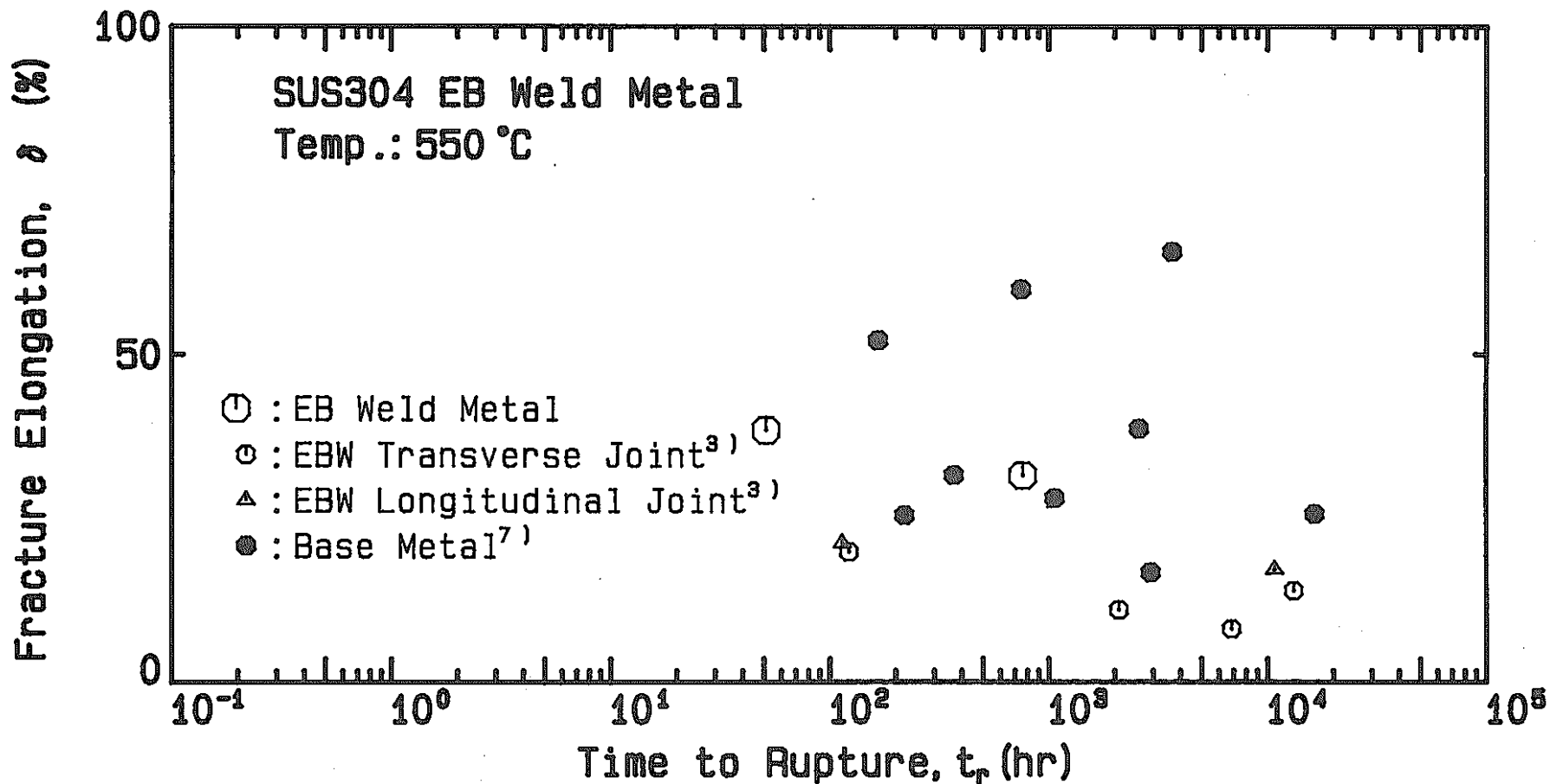


図 5.22 550 °C における SUS304 EB 溶接金属の破断伸びと破断時間の関係

Fig.5.22 Relation between Fracture Elongation and Time to Rupture at 550 °C for SUS304 EB Weld Metal

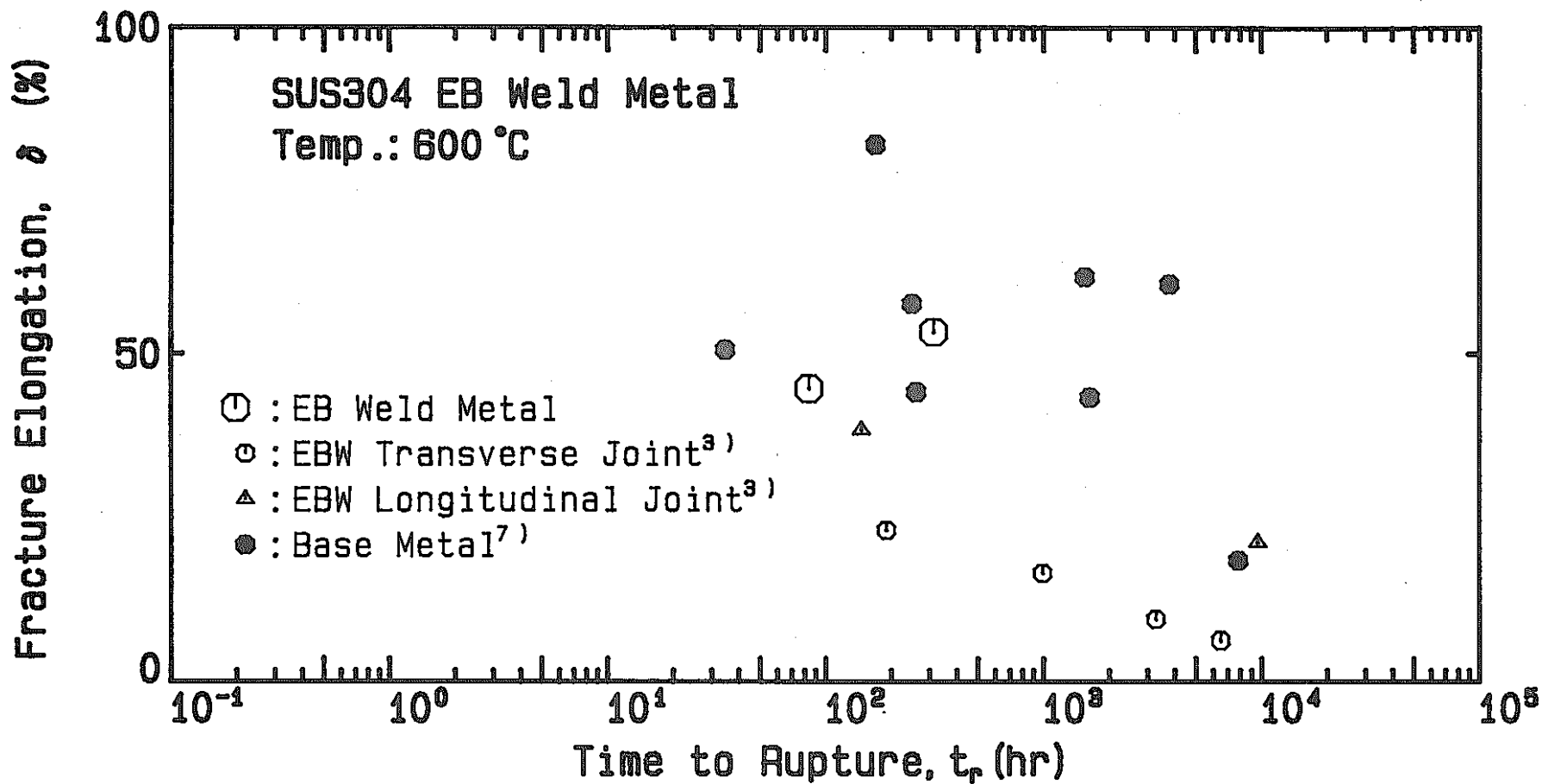


図 5.23 600 °C における SUS304 EB 溶接金属の破断伸びと破断時間の関係
Fig.5.23 Relation between Fracture Elongation and Time to Rupture at 600 °C for SUS304 EB Weld Metal

5. 3 高温疲労試験結果

表5. 3は昭和60年度より継続して行っているSUS304鋼板EB溶接継手の高温低サイクル疲労試験結果をまとめて示している。

(1) 疲労寿命

図5. 26, 図5. 27および図5. 28に500℃, 550℃および600℃におけるEB溶接金属の疲労寿命を示す。比較のため母材および継手データと許容ひずみ範囲(A) (原型炉材料強度基準)¹⁾も併記している。溶接金属の疲労寿命を母材および継手データと比べると500℃では母材より若干低下し、継手とほぼ同等であるが、550℃, 600℃では母材より小さく継手より大きい結果となっている。

また、引張ひずみ10分保持ありのクリープ疲労試験では連続サイクル試験に比べおよそ3割から1割、寿命低下が見られる。保持時間による寿命低下は高温であるほど著しい。

一方、比較に使用した許容ひずみ範囲(A)は繰返しひずみ速度が 10^{-3} mm/mm/sec 以上の場合に適用でき、本試験条件にも合致している。許容ひずみ範囲(A)は設計安全係数を考慮している値であり、また他の許容ひずみ範囲(B)および(C)よりも許容ひずみ範囲の値が大きいものであるが、本試験結果はこの値を十分満足している。

(2) 繰返し応力-ひずみ関係

図5. 29, 図5. 30および図5. 31に500℃, 550℃および600℃における、繰返し応力-ひずみ曲線を示す。比較のため、母材および継手とPNC提案式による値も示している。溶接金属は500℃では母材および継手データより若干低下しているだけだが、550℃, 600℃では母材および継手データよりかなり値が小さくなっている。PNC提案式による値は比較的良好に母材データと一致しているが、溶接金属はこれらの値よりかなり低目となっている。

高温では溶接金属の繰返し硬化特性が母材より小さいことが原因と考えられる。

(3) ひずみ保持中のリラクセーション

図5. 32, 図5. 33および図5. 34に500℃, 550℃および600℃におけるEB溶接金属のクリープ疲労試験におけるひずみ保持中のリラクセーション曲線を示す。比較のため、母材データも示している。溶接金属と母材のリラクセーション曲線を比較すると、発生応力が若干低くなっており、また高温であるほど著しい結果となっている。

(4) まとめ

現在までに得られた結果を次に示す。

- 1) SUS304鋼板EB溶接継手の疲労寿命は母材と比して高ひずみ範囲側で若干下回るものの、全体的には母材とほぼ同等の疲労寿命を有している。
- 2) 引張ひずみ10分保持ありの疲労寿命は連続サイクル試験での疲労寿命と比べると横継手では70%から40%、縦継手では80%から50%に低下する。また、保持時間による寿命低下の傾向は高温であるほど著しい。
- 3) SUS304鋼板EB溶接継手の疲労寿命は許容ひずみ範囲(A)を十分満足している。
- 4) 疲労試験では500℃で母材部破断、550℃および600℃では溶接金属部破断が多くなる。一方、クリープ疲労試験ではすべて溶接金属部破断である。
- 5) SUS304鋼板EB溶接金属の疲労寿命は母材より小さく、継手より大きい結果となっている。

表5.3 低サイクル疲労試験結果 (1/3)

Table 5.3 Results of Low Cycle Fatigue Tests (1/3)

材料SUS304			化 学 成 分 (wt%)						溶 接 法					
材 料 製 造 者			C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Co	EB			
新 日 鉄			0.05	0.59	0.87	0.027	0.003	8.98	14.47	0.12	試験雰囲気		試験場所	
素材形状寸法			熱 処 理						大 気		川崎重工業(株)			
40 ^t × 1000 ^ω × 1000 ^ℓ			ひずみ速度 ε̇ (%/sec)		ひずみ保持時間		ひずみ範囲		Nf	定常応力 (kg/mm ²)				破断位置 ^{*1} (JIS Z-2241)
温 度 (°C)	分 類	試験片番号	引張(min)	圧縮(min)	Δεt(%)	Δεp(%)	(cycles)	σ max	σ' max	σ min	σ' min			
500	EB横継手	FXEB01 ^{*2}										0	0	1.474	0.995	155^{*4}	33.7	33.7	-34.7	-34.7	未破断
"	"	FXEB02 ^{*2}	"	"	0.981	0.574	2157	28.1	28.1	-28.8	-28.8	BM		
"	"	FXEB03 ^{*2}	"	"	0.732	0.386	5227	24.3	24.3	-24.6	-24.6	BM		
"	"	FXEB08 ^{*3}	"	"	0.488	0.200	22845	21.1	21.1	-21.1	-21.1	BM		
"	"	FXEB14 ^{*3}	"	10	0.988	0.988	1421	29.5	26.8	-29.6	-29.6	FL		
"	EB縦継手	FYEB1 ^{*2}	"	0	0.980	0.556	2709	29.2	29.2	-30.0	-30.0	A		
"	"	FYEB2 ^{*3}	"	"	0.487	0.179	32632	23.2	23.2	-23.3	-23.3	A		
"	"	FYEB7 ^{*3}	"	10	0.985	0.569	2034	30.4	27.7	-30.9	-30.9	A		
"	EB溶金	FWEB01	"	0	1.007	0.541	1607	27.8	27.7	-28.6	-28.6	A		
"	"	FWEB02	"	10	1.003	0.595	1461	25.5	22.8	-28.3	-28.3	A		

*1 横継手試験片の破断位置は次の記号で示す。(BM: 母材, WM: 溶接金属, FL: ボンド部, HAZ: 熱影響部)

*2 昭和60年度完了

*3 昭和61年度完了

*4 試験片座屈回数

表5.3 低サイクル疲労試験結果 (2/3)
Table 5.3 Results of Low Cycle Fatigue Tests (2/3)

材料SUS304													
材料製造者		化 学 成 分 (wt%)							溶 接 法				
新 日 鉄		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Co	EB			
素材形状寸法		0.05	0.59	0.87	0.027	0.003	8.98	14.47	0.12	試験雰囲気		試験場所	
40 ^t × 1000 ^ω × 1000 ^ℓ		熱 処 理			—				大 気		川崎重工業(株)		
温 度 (°C)	分 類	試験片番号	ひずみ 速 度 ε (%/sec)	ひずみ保持時間		ひずみ範囲		Nf (cycles)	定 常 応 力 (kg/mm ²)				破断位置 ^{*1} (JIS Z-2241)
				引張(min)	圧縮(min)	Δε _t (%)	Δε _p (%)		σ _{max}	σ' _{max}	σ _{min}	σ' _{min}	
550	EB横継手	FXEB10 ^{*3}	0.1	0	0	1.473	1.047	318	33.8	33.8	-33.4	-33.4	BM
"	"	FXEB11 ^{*3}	"	"	"	0.982	0.599	1735	26.8	26.8	-25.7	-25.7	WM
"	"	FXEB12 ^{*3}	"	"	"	0.733	0.394	3886	24.3	24.3	-23.3	-23.3	WM
"	"	FXEB13 ^{*3}	"	"	"	0.487	0.208	16631	20.0	20.0	-18.8	-18.8	WM
"	"	FXEB15 ^{*3}	"	10.	"	0.984	0.634	1025	26.1	22.9	-25.4	-25.4	FL
"	EB縦継手	FYEB5 ^{*3}	"	0	"	0.98	0.587	1438	28.2	28.2	-27.5	-27.5	A
"	"	FYEB6 ^{*3}	"	"	"	0.487	0.207	13856	21.	21.	-19.7	-19.7	A
"	"	FYEB8 ^{*3}	"	10.	"	0.985	0.624	938	27.8	24.4	-27.6	-27.6	A
"	EB溶金	FWEB03	"	0	"	1.040	0.627	1411	23.5	23.5	-24.2	-24.2	A
"	"	FWEB04	"	10	"	1.008	0.675	1248	18.8	16.4	-20.0	-19.9	A

*1 横継手試験片の破断位置は次の記号で示す。(BM: 母材, WM: 溶接金属, FL: ボンド部, HAZ: 熱影響部)

*2 昭和60年度完了

*3 昭和61年度完了

表5.3 低サイクル疲労試験結果(3/3)
Table 5.3 Results of Low Cycle Fatigue Tests (3/3)

材料SUS304		化学成分 (wt%)							溶接法						
材料製造者		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Co	EB					
新日鉄		0.05	0.59	0.87	0.027	0.003	8.98	14.47	0.12	試験雰囲気		試験場所			
素材形状寸法		熱処理							大気		川崎重工業株				
温度 (°C)	分類	試験片番号	ひずみ速度 ε (%/sec)	ひずみ保持時間		ひずみ範囲		Nf (cycles)	定常応力 (kg/mm ²)				破断位置 (JIS Z-2241) ^{*1}		
				引張(min)	圧縮(min)	Δεt(%)	Δεp(%)		σ max	σ' max	σ min	σ' min			
600	EB横継手	FXEB04 ^{*2}	0.1	0	0	1.474	1.073	641	25.5	25.5	-26.0	-26.0	WM		
"	"	FXEB06 ^{*2}	"	"	"	0.981	0.623	1996	23.3	23.3	-23.6	-23.6	WM		
"	"	FXEB07 ^{*2}	"	"	"	0.733	0.421	3288	21.4	21.4	-21.7	-21.7	WM		
"	"	FXEB09 ^{*3}	"	"	"	0.487	0.228	11914	18.9	18.9	-17.6	-17.6	WM		
"	"	FXEB16 ^{*3}	"	10.	"	0.989	0.695	651	21.6	16.6	-22.8	-22.8	FL		
"	EB縦継手	FYEB3 ^{*2}	"	0	"	0.980	0.616	1805	24.2	24.2	-24.6	-24.6	A		
"	"	FYEB4 ^{*3}	"	"	"	0.488	0.218	10766	20.0	20.0	-18.7	-18.7	A		
"	"	FYEB9 ^{*3}	"	10.	"	0.991	0.684	890	22.2	17.6	-23.5	-23.5	A		
"	EB溶金	FWEB05	"	0	"	1.002	0.676	1005	19.9	19.8	-20.4	-20.1	A		
"	"	FWEB06	"	10	"	1.002	0.779	717	19.0	14.5	-19.6	-19.6	A		

*1 横継手試験片の破断位置は次の記号で示す。(BM: 母材, WM: 溶接金属, FL: ボンド部, HAZ: 熱影響部)

*2 昭和60年度完了

*3 昭和61年度完了

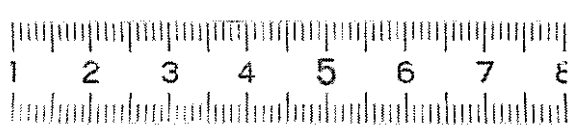

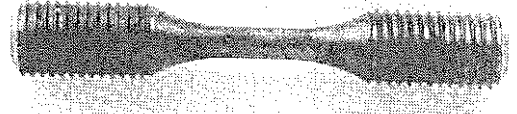
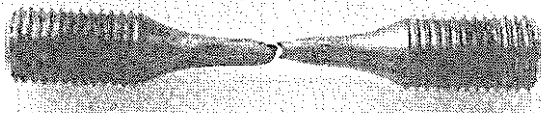
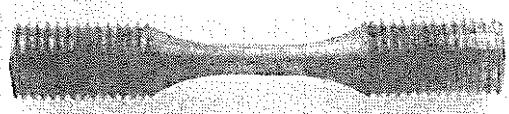
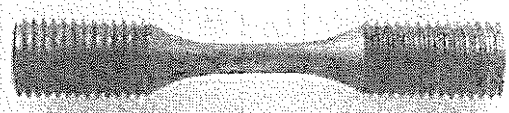
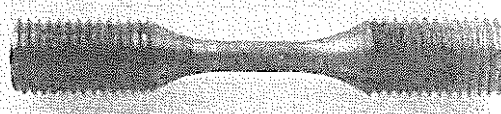
試験温度 (°C)	試験片番号	$\Delta \varepsilon_t$ (%)	t_n (min)	
500	FWEB01	1.0	0	
	FWEB02	1.0	10	
550	FWEB03	1.0	0	
	FWEB04	1.0	10	
600	FWEB05	1.0	0	
	FWEB06	1.0	10	
試験材料		SUS304 EB溶接金属		

写真 5. 4 破断後の SUS304 EB 溶接金属疲労試験片外観
 Photo. 5.4 Appearance after Tests for SUS304 EB Weld Metal

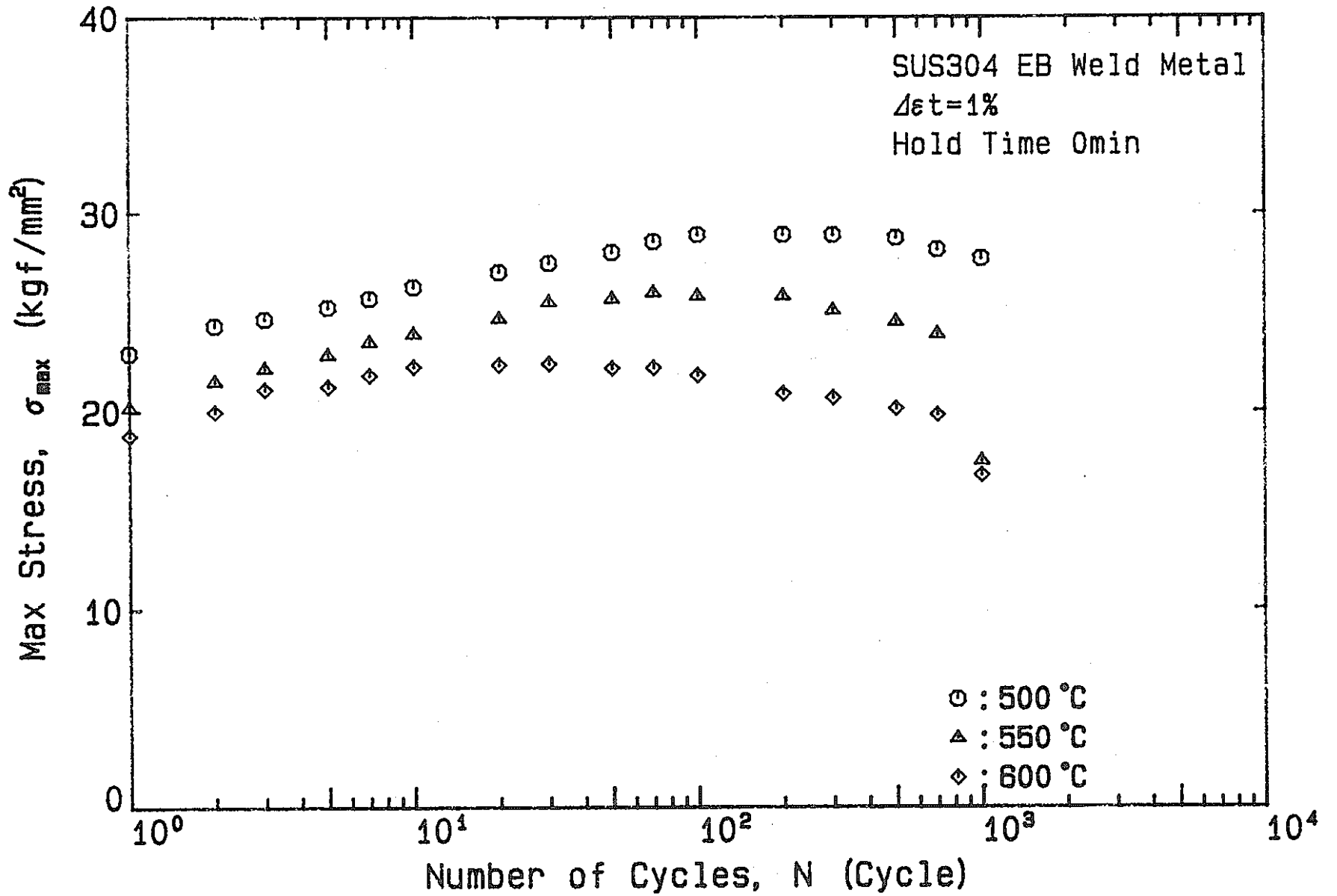


図 5.24 SUS304 EB 溶接金属の連続繰返しに伴う最大応力の変化

Fig. 5.24 Variation of Maximum Stress during Continuous Cycling

for SUS304 EB Weld Metal

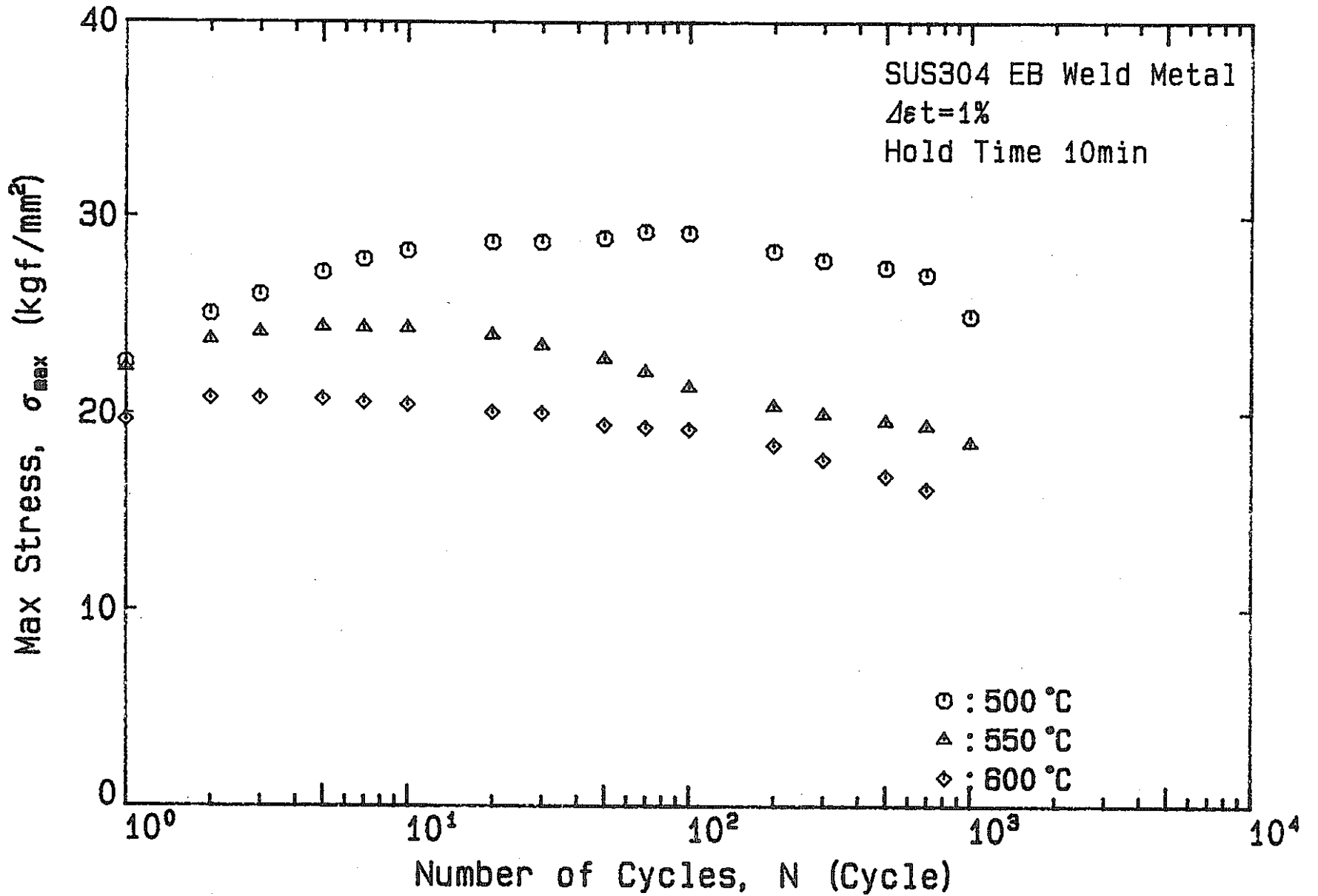


図 5.25 SUS304 EB 溶接金属の引張側保持ありの繰返しに伴う最大応力の変化
Fig. 5.25 Variation of Maximum Stress during Tension Hold Time
Cycling for SUS304 EB Weld Metal

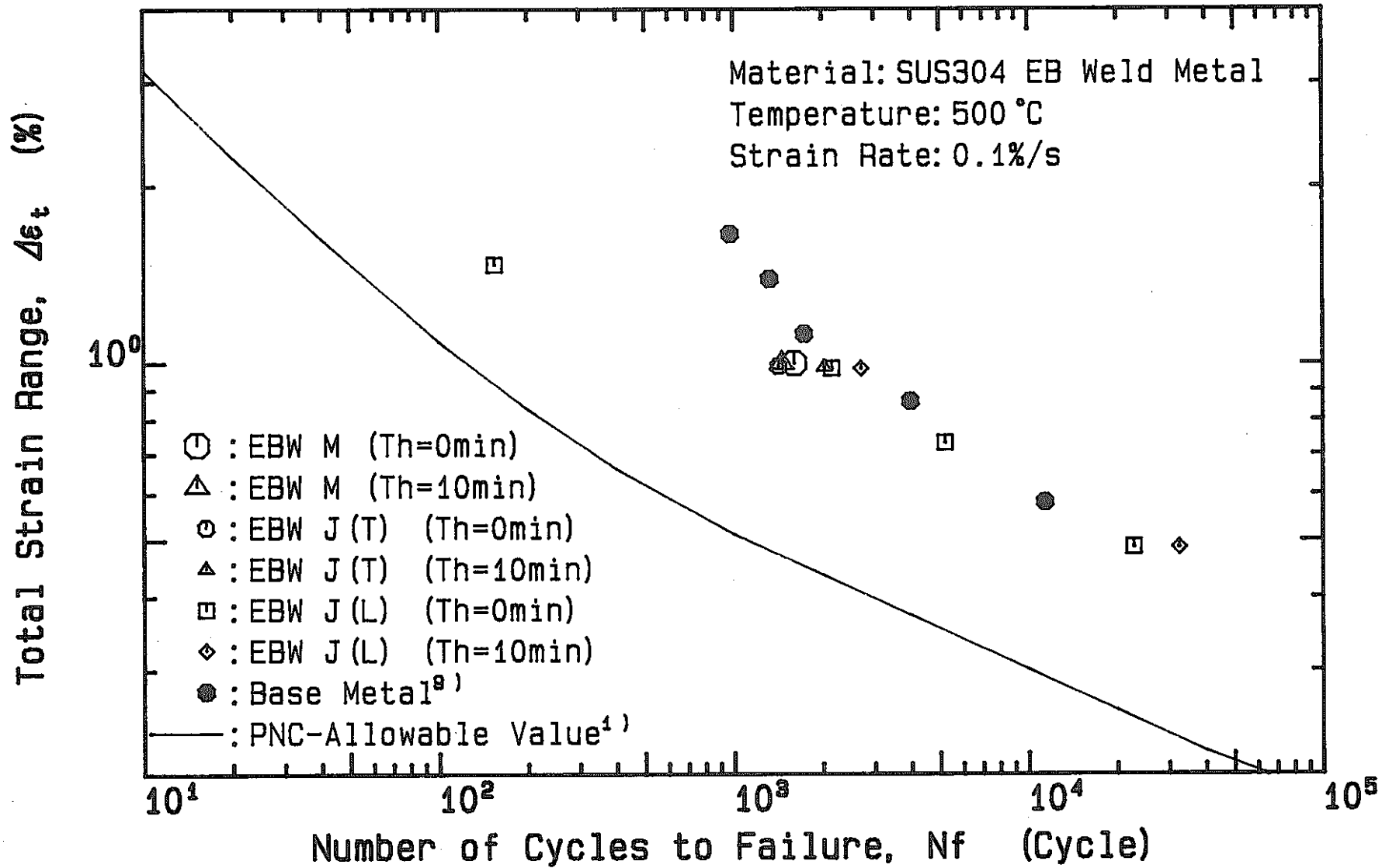


図 5.26 500°C における SUS304 EB 溶接金属の低サイクル疲労寿命

Fig. 5.26 Low Cycle Fatigue Life at 500°C for SUS304 EB Weld Metal

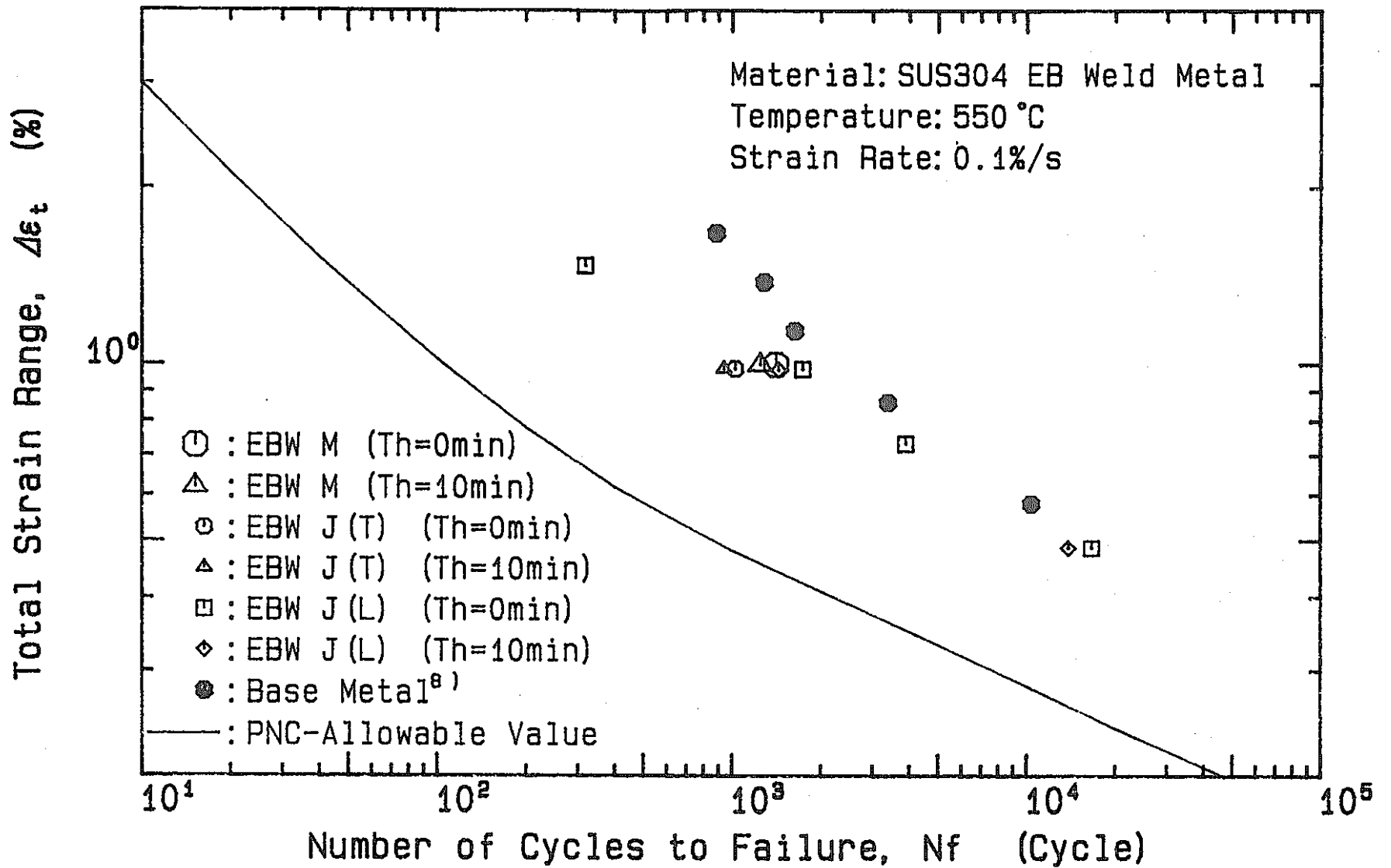


図 5.27 550 °C における SUS304 EB 溶接金属の低サイクル疲労寿命

Fig. 5.27 Low Cycle Fatigue Life at 550 °C for SUS304 EB Weld Metal

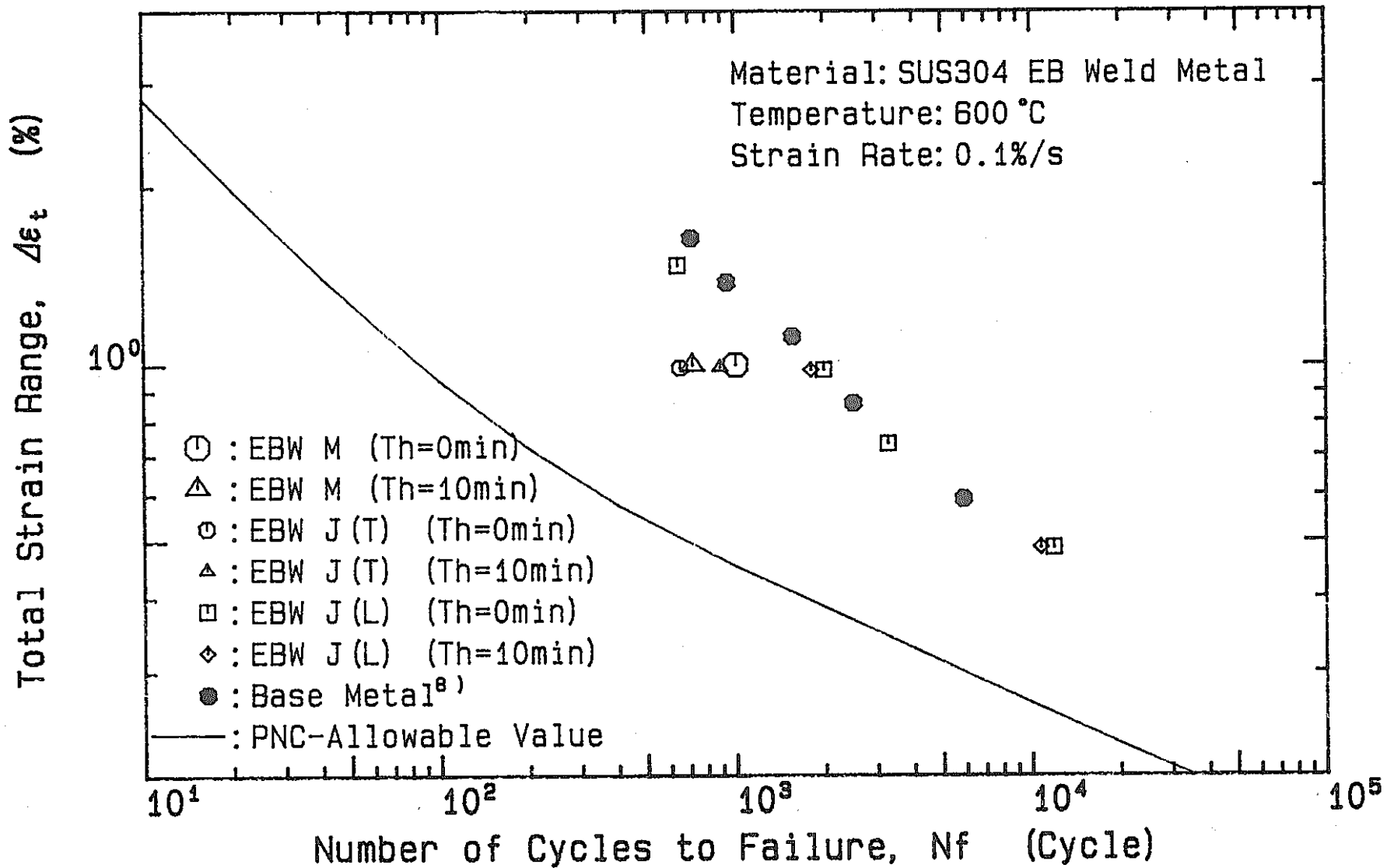


図 5.28 600°C における SUS304 EB 溶接金属の低サイクル疲労寿命

Fig. 5.28 Low Cycle Fatigue Life at 600°C for SUS304 EB Weld Metal

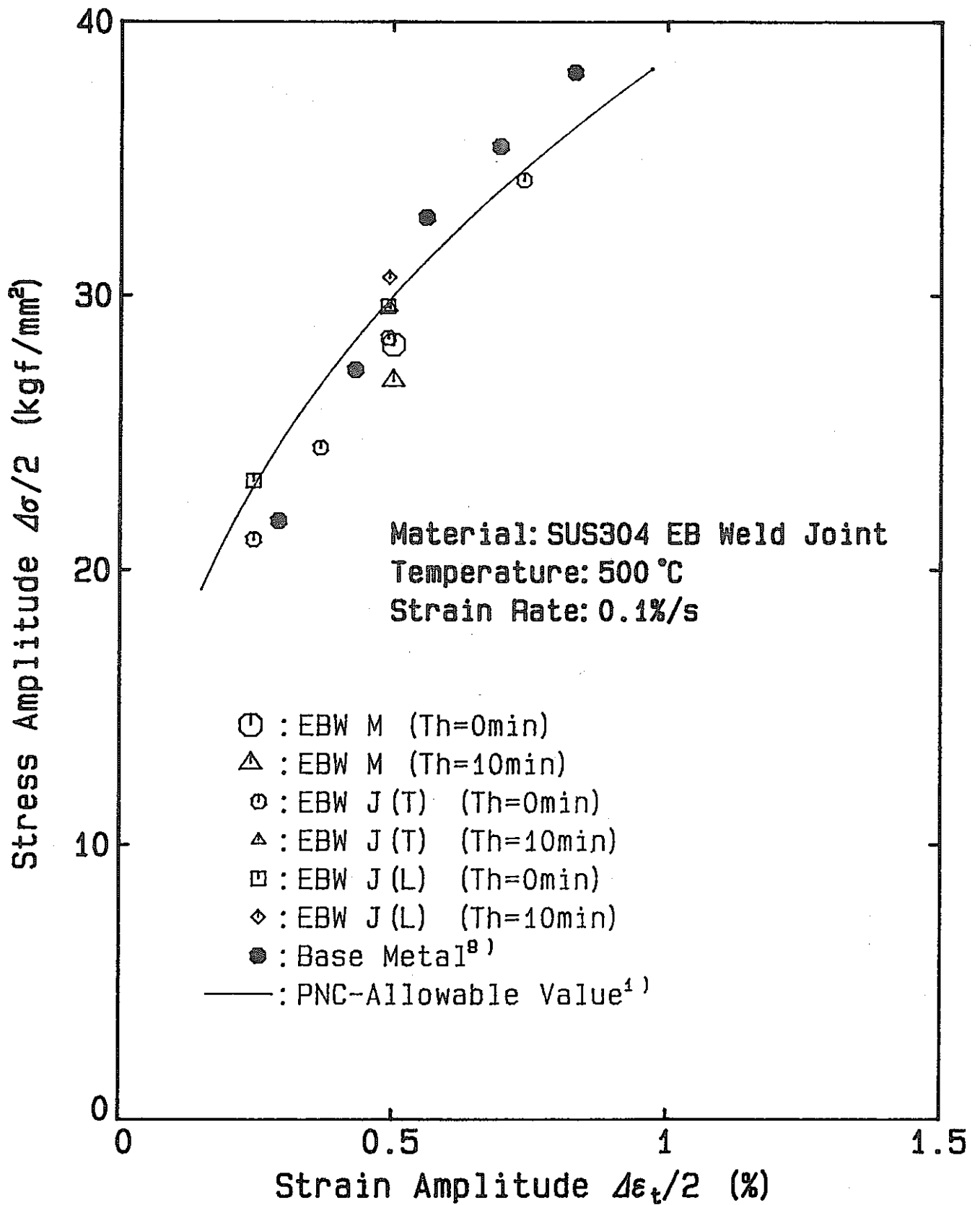


図 5.29 500°C における SUS304 EB 溶接金属の繰返し応力 - ひずみ曲線

Fig. 5.29 Cyclic Stress-Strain Curve at 500°C for SUS304 EB Weld Metal

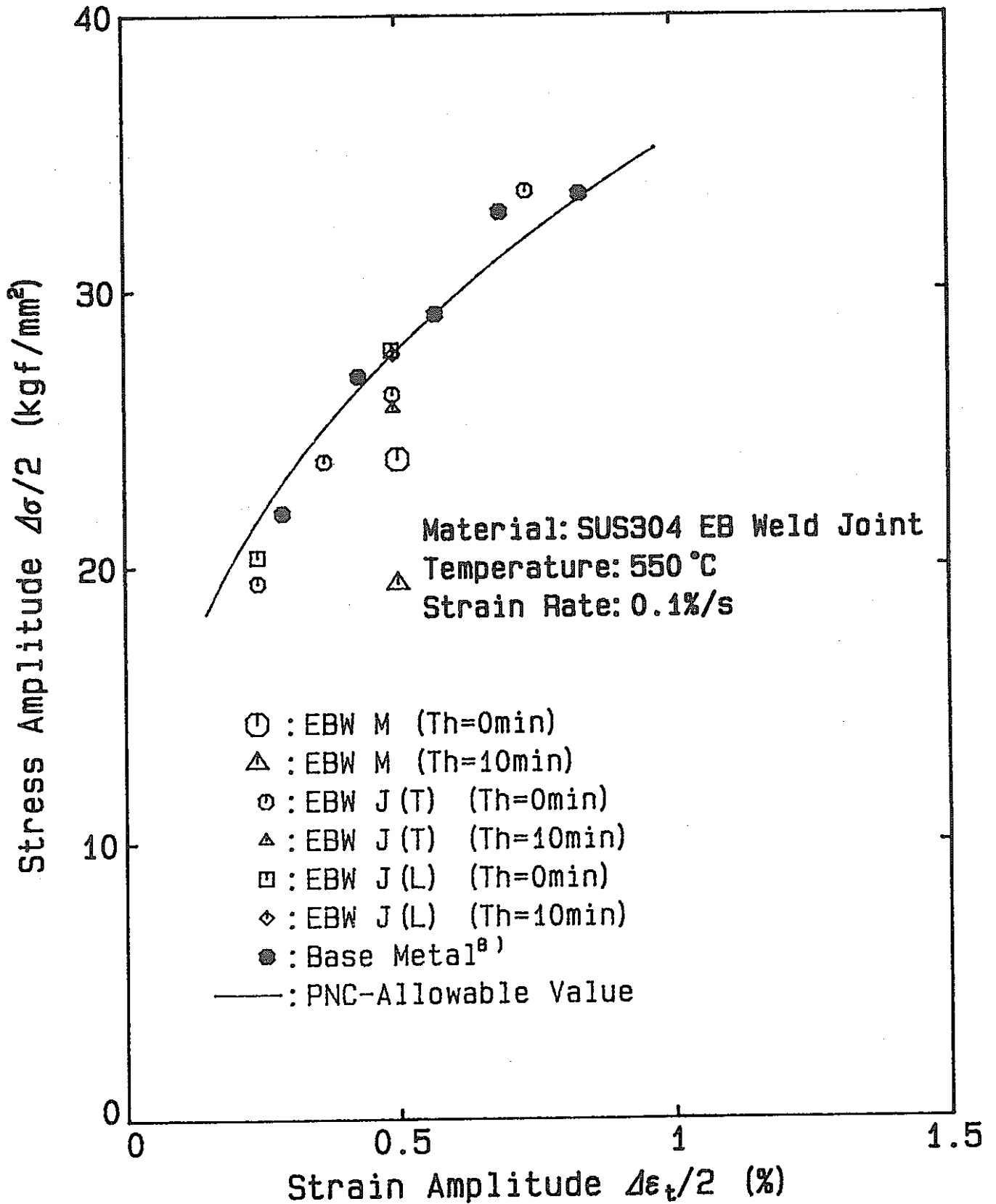


図 5.30 550°C における SUS304 EB 溶接金属の繰返し応力 - ひずみ曲線

Fig. 5.30 Cyclic Stress-Strain Curve at 550°C for SUS304 EB Weld Metal

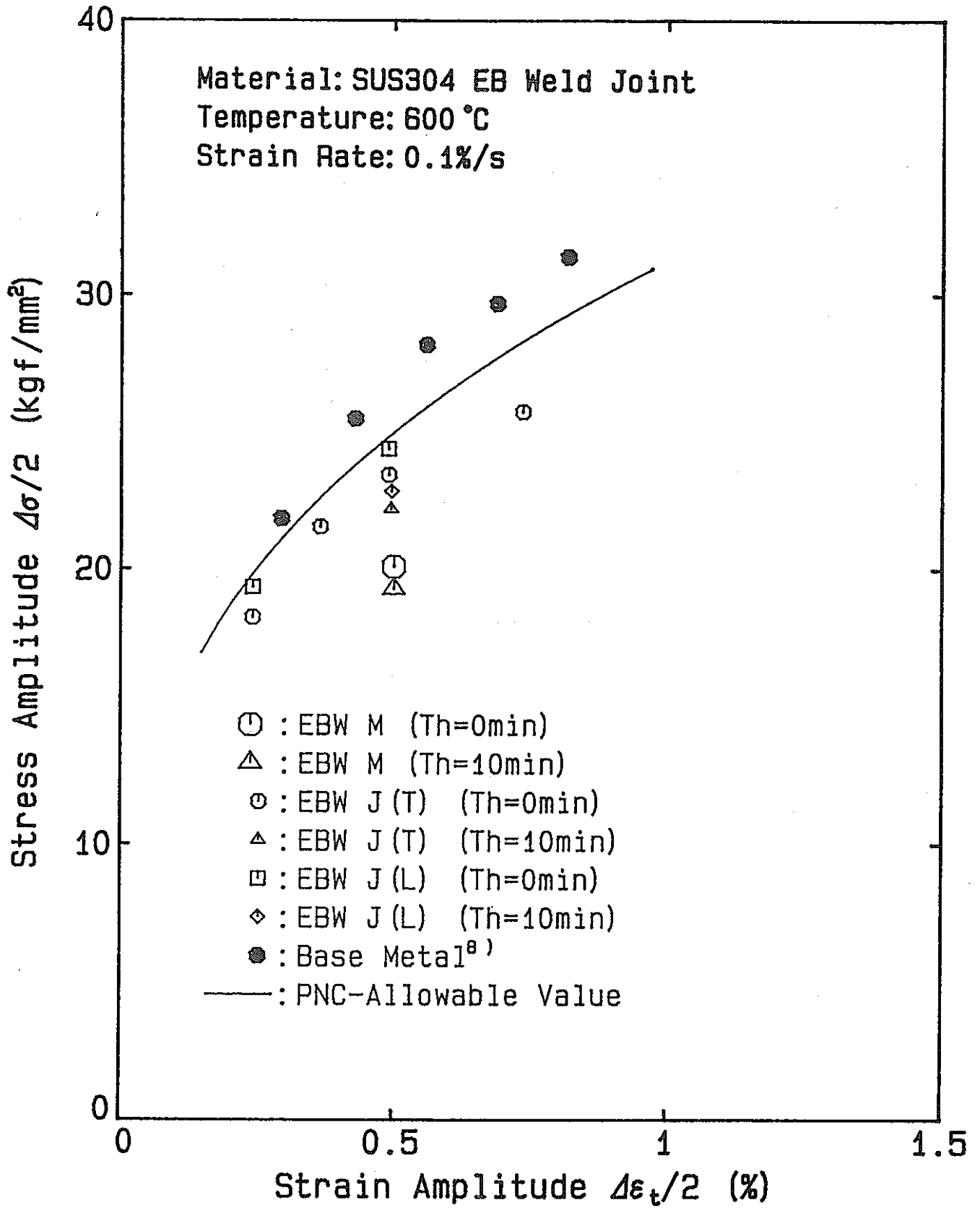


図 5.31 600°C における SUS304 EB 溶接金属の繰返し応力 - ひずみ曲線

Fig. 5.31 Cyclic Stress-Strain Curve at 600°C for SUS304 EB Weld Metal

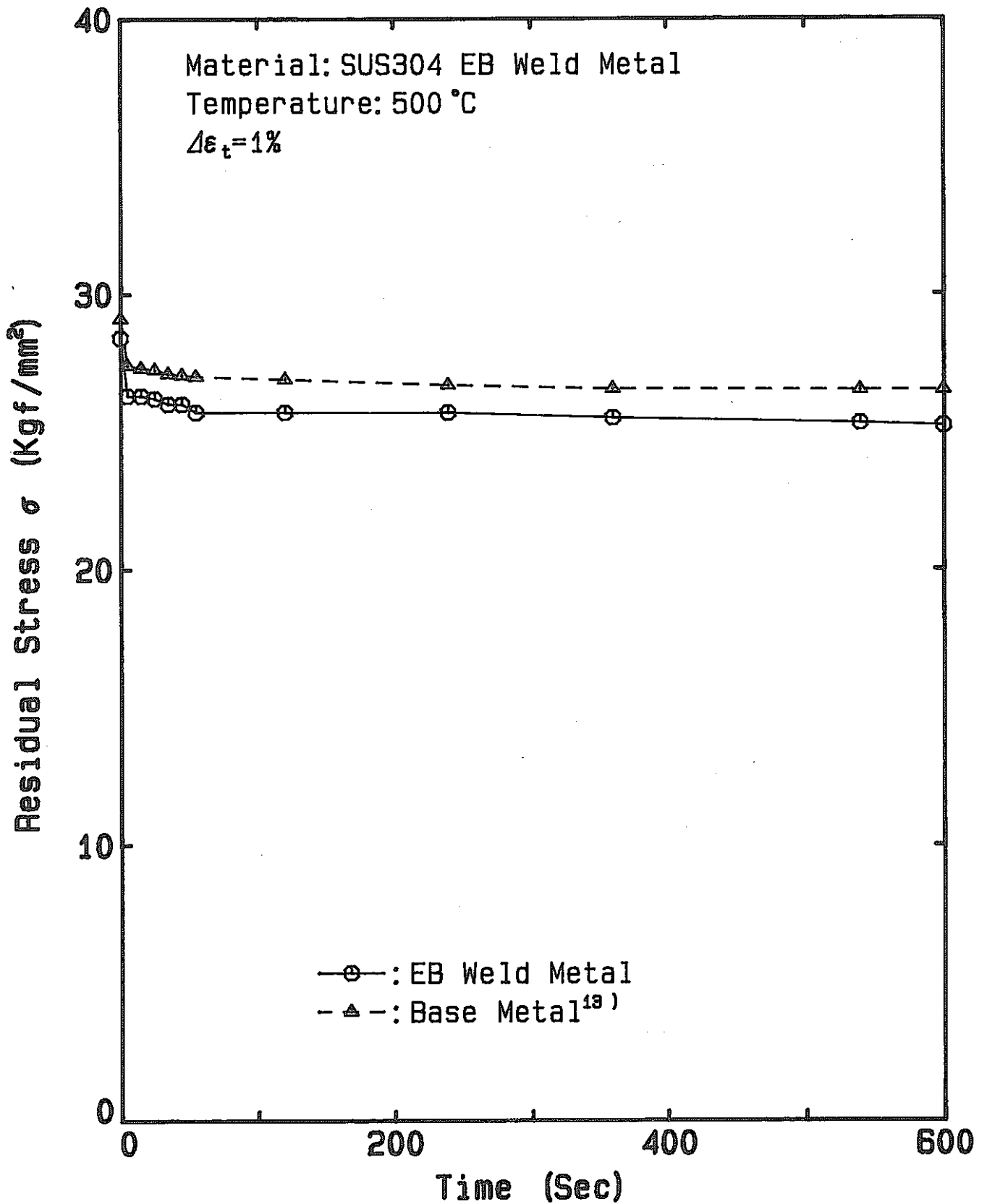


図 5.32 500°CにおけるSUS304 EB 溶接金属のクリープ疲労試験におけるひずみ保持中のリラクセーション

Fig. 5.32 Relaxation Behavior in Strain-Hold Time for Creep-Fatigue Test for SUS304 EB Weld Metal

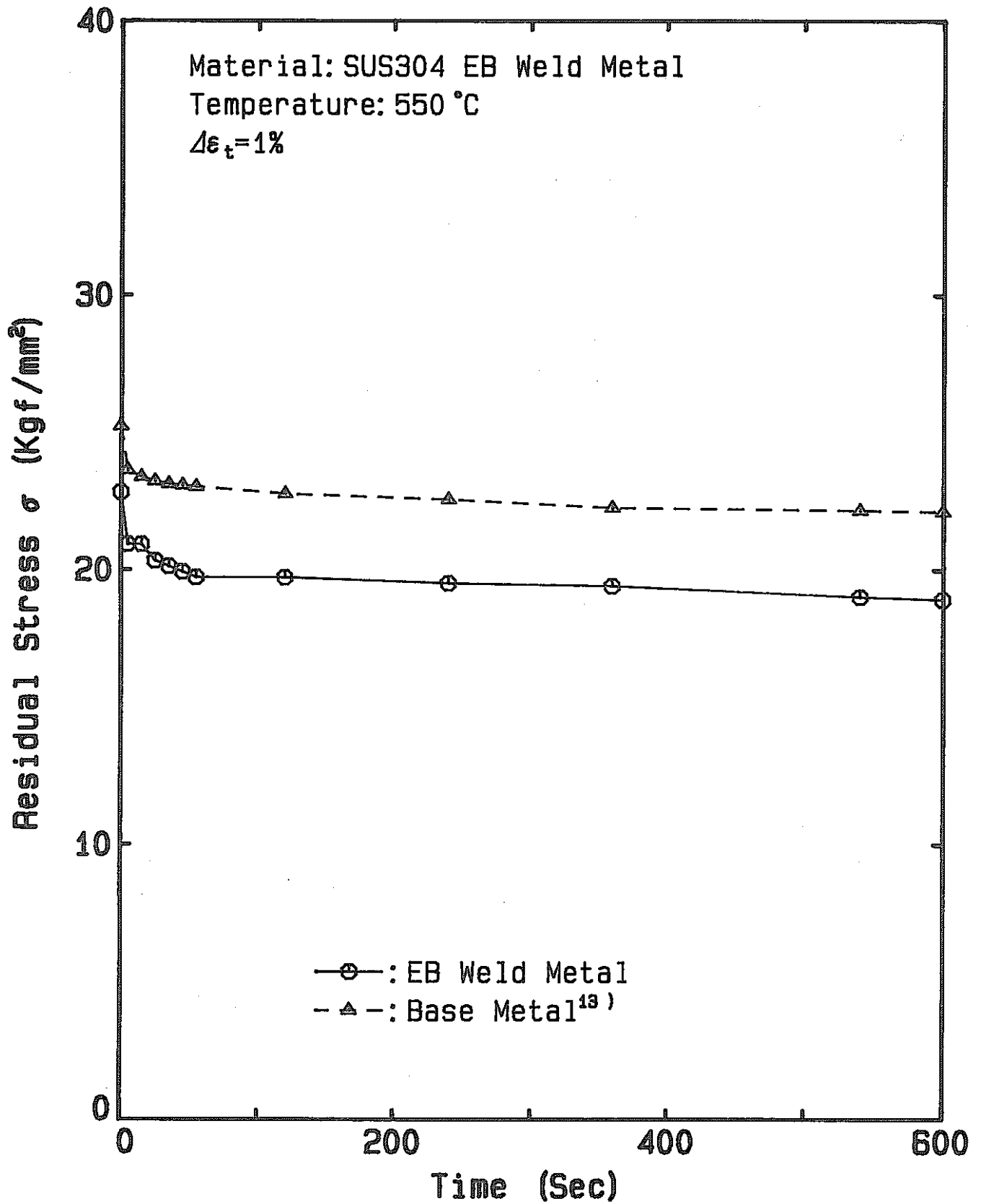


図 5.33 550°CにおけるSUS304 EB 溶接金属のクリープ疲労試験におけるひずみ保持中のリラクゼーション

Fig. 5.33 Relaxation Behavior in Strain-Hold Time for Creep-Fatigue Test for SUS304 EB Weld Metal

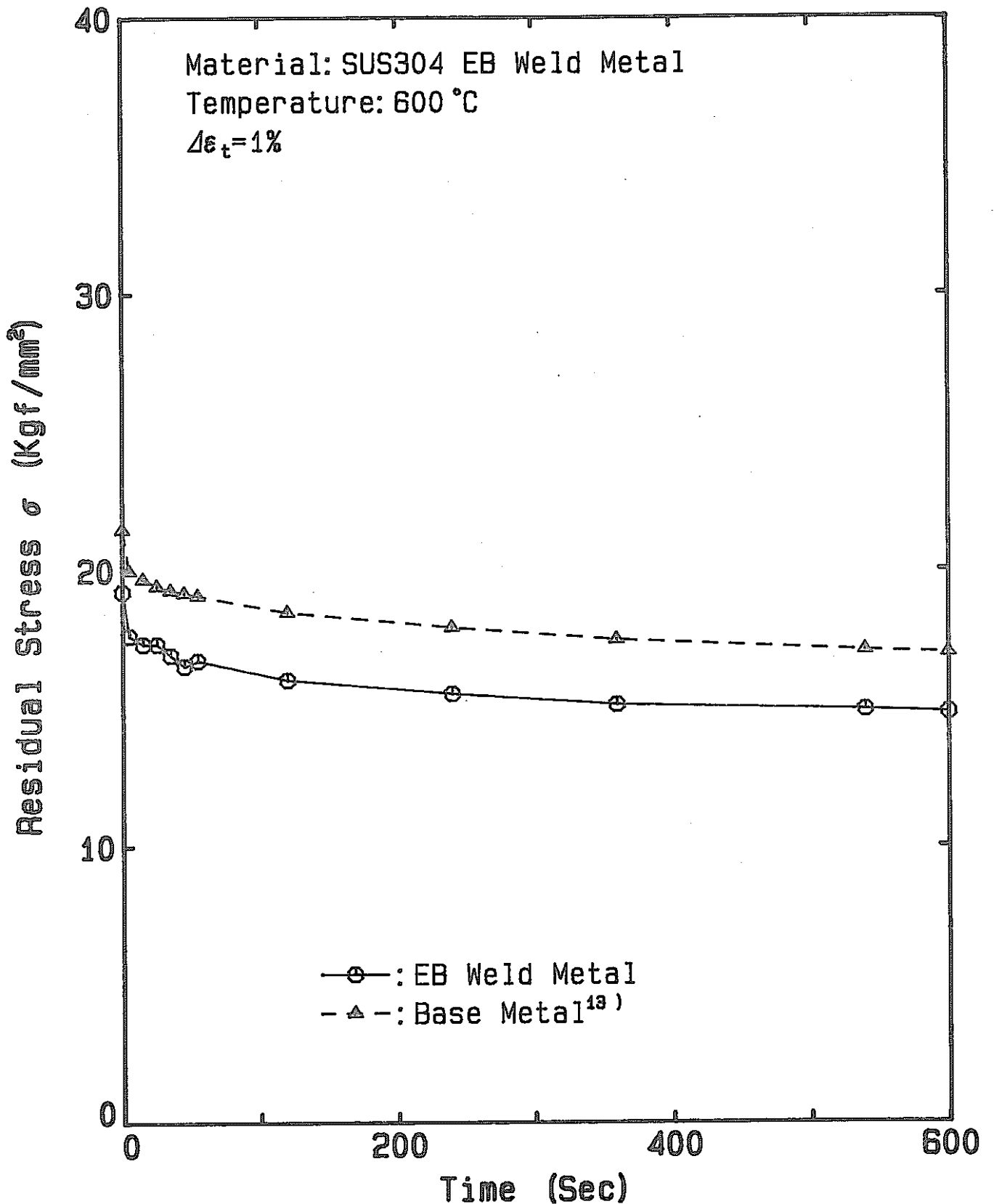


図 5.34 600°CにおけるSUS304 EB 溶接金属のクリープ疲労試験におけるひずみ保持中のリラクセーション

Fig. 5.34 Relaxation Behavior in Strain-Hold Time for Creep-Fatigue Test for SUS304 EB Weld Metal

6. 9Cr系鋼板の引張およびクリープ試験結果

6.1 高温引張試験結果

Mod. 9Cr-1Mo鋼板材および9Cr-1MoVNb鋼板材の高温引張試験結果と破断後の試験片外観を表6.1と写真6.1および表6.2と写真6.2にそれぞれ示す。

図6.1, 図6.2, 図6.3および図6.4はそれぞれMod. 9Cr-1Mo鋼板材および9Cr-1MoVNb鋼板材の0.2%耐力, 引張強さ, 破断伸びおよび絞りを示したものである。図6.1および図6.2には、それぞれSy値およびSu値(材料強度基準等(暫定値))⁴⁾も比較のため供記している。0.2%耐力, 引張強さとも9Cr-1MoVNb鋼板材に比してMod. 9Cr-1Mo鋼板材の方が若干高目の値となっている。また、Sy値およびSu値と比較すると、Mod. 9Cr-1Mo鋼板材は若干高目の値を示すが、9Cr-1MoVNb鋼板材は低温側では高目の値を示すものの高温側では同等か若干低目の値を示している。一方、破断伸びおよび絞りではともに9Cr-1MoVNb鋼板材の方が大きめとなっている。本供試材は溶接後熱処理と同条件の熱処理を施してあるため、やや強度が落ちていると考えられる。

図6.5から図6.8はR. T, 450℃, 500℃, 550℃における1.5%ひずみまでの真応力-真ひずみ特性を図示したものである。

表 6. 1 引張試験結果
Table 6.1 Results of Tensile Tests

材料	Mod. 9Cr-1Mo		素材製造者	素材形状寸法			試験場所				
			新日鉄	25' × 1000 ^w × 1000'			川崎重工業(株)				
試験雰囲気			溶接法	熱処理							
大気			—	740°C × 8.4hr							
化 学 成 分 (wt%)											
C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Nb	V	T.Al	N
0.10	0.26	0.42	0.006	0.001	0.1	0.884	0.96	0.08	0.22	0.005	0.068
温度 (°C)	分類	試験片 番号	引張試験結果								
			0.2%耐力 (kgf/mm ²)	引張強さ (kgf/mm ²)	破断伸び (%)	絞 り (%)	破断位置 (JIS Z-2241)				
RT	母材	MT9C01	48.11	67.50	25.58	77.12	A				
"	"	" 02	45.46	65.78	26.13	76.02	A				
450	"	" 03	37.98	50.06	20.90	76.10	A				
"	"	" 04	35.89	48.05	20.71	75.42	A				
500	"	" 05	34.22	42.44	27.77	87.56	A				
"	"	" 06	31.96	40.31	28.35	86.07	A				
550	"	" 07	29.44	36.32	31.08	90.54	A				
"	"	" 09	31.11	37.73	31.29	91.06	A				

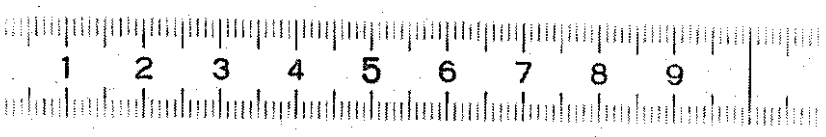
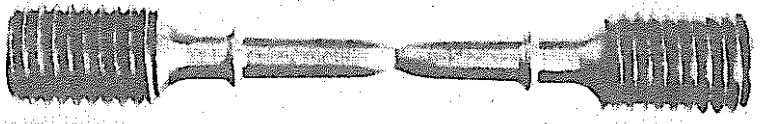
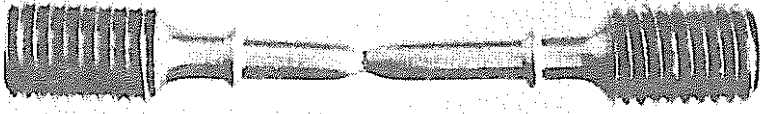


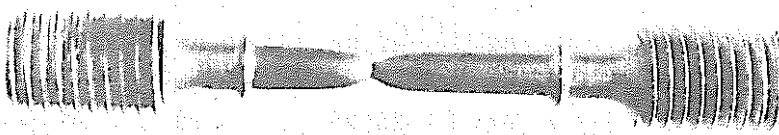
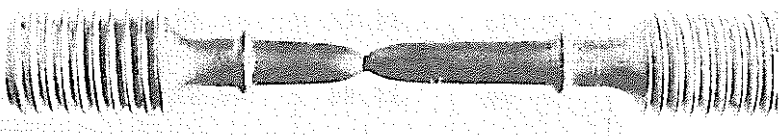
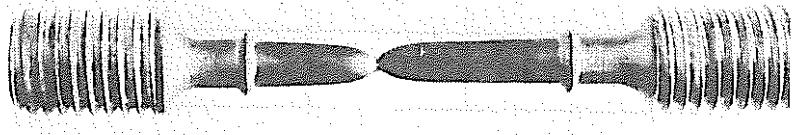
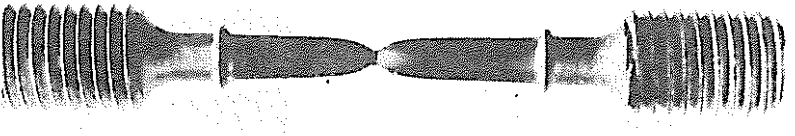
試験温度 (°C)	試験片番号	
RT	MT9C01	
	MT9C02	
450	MT9C03	
	MT9C04	
500	MT9C05	
	MT9C06	
550	MT9C07	
	MT9C09	
試験材料		Mod. 9Cr-1Mo Steel Plate

写真6.1 破断後のMod. 9Cr-1Mo鋼板材引張試験片外観
 Photo. 6.1 Appearance after Tensile Tests for Mod.9Cr-1Mo Steel Plate

表 6. 2 引張試験結果
Table 6.2 Results of Tensile Tests

材料	9Cr-1MoVNb			素材製造者	素材形状寸法				試験場所			
				新日鉄	25' × 1000' × 1000'				川崎重工業(株)			
試験雰囲気				溶接法	熱処理							
大気				—	710°C × 8.4hr							
化 学 成 分 (w t %)												
C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Nb	So1. Al	T. N	
0.08	0.13	0.72	0.009	0.002	0.18	8.01	0.92	0.21	0.05	0.006	0.012	
温 度 (°C)	分 類	試 験 片 番 号	引 張 試 験 結 果									
			0.2%耐力 (kgf/mm ²)	引張強さ (kgf/mm ²)	破断伸び (%)	絞 り (%)	破断位置 (JIS Z-2241)					
RT	母 材	LT9C01	50.38	63.08	25.16	79.67	A					
"	"	" 02	46.88	61.79	26.50	80.54	A					
450	"	" 04	32.77	42.15	21.23	82.58	A					
"	"	" 09	35.98	43.89	20.43	82.32	A					
500	"	" 05	29.72	35.23	29.76	91.67	A					
"	"	" 06	30.16	35.85	27.96	89.97	A					
550	"	" 07	28.02	33.87	33.70	92.43	A					
"	"	" 08	24.85	32.13	33.83	94.03	A					

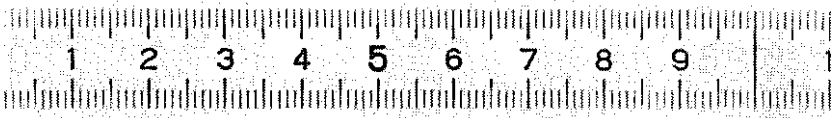
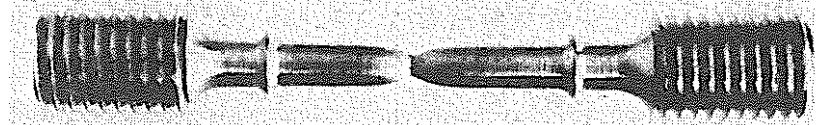
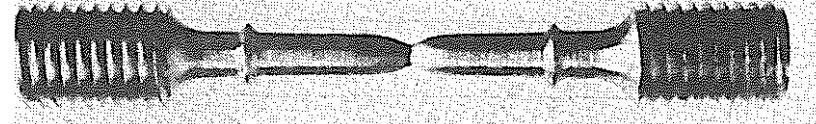
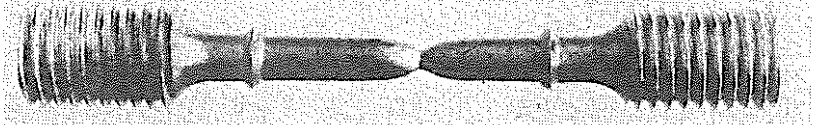
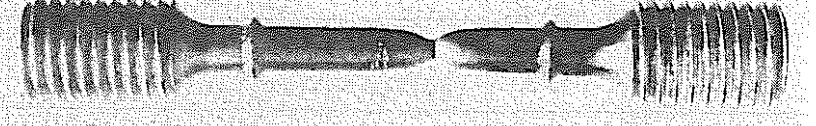
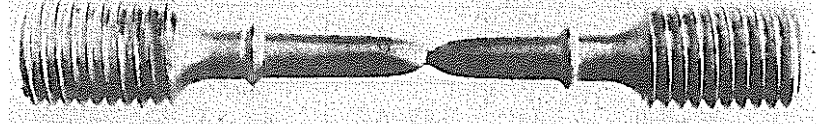
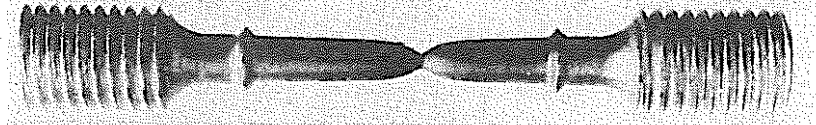
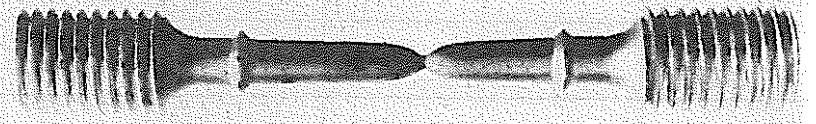
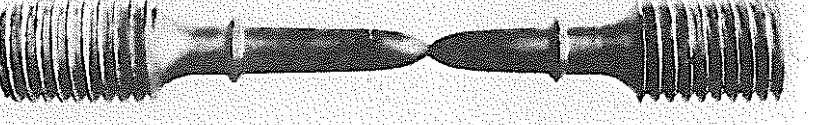
試験温度 (°C)	試験片番号	
RT	LT9C01	
	LT9C02	
450	LT9C04	
	LT9C09	
500	LT9C05	
	LT9C06	
550	LT9C07	
	LT9C08	
試験材料		9Cr-1MoVNb Steel Plate

写真 6. 2 破断後の 9Cr-1MoVNb 鋼板材引張試験片外観
 Photo. 6.2 Appearance after Tensile Tests for 9Cr-1MoVNb Steel Plate

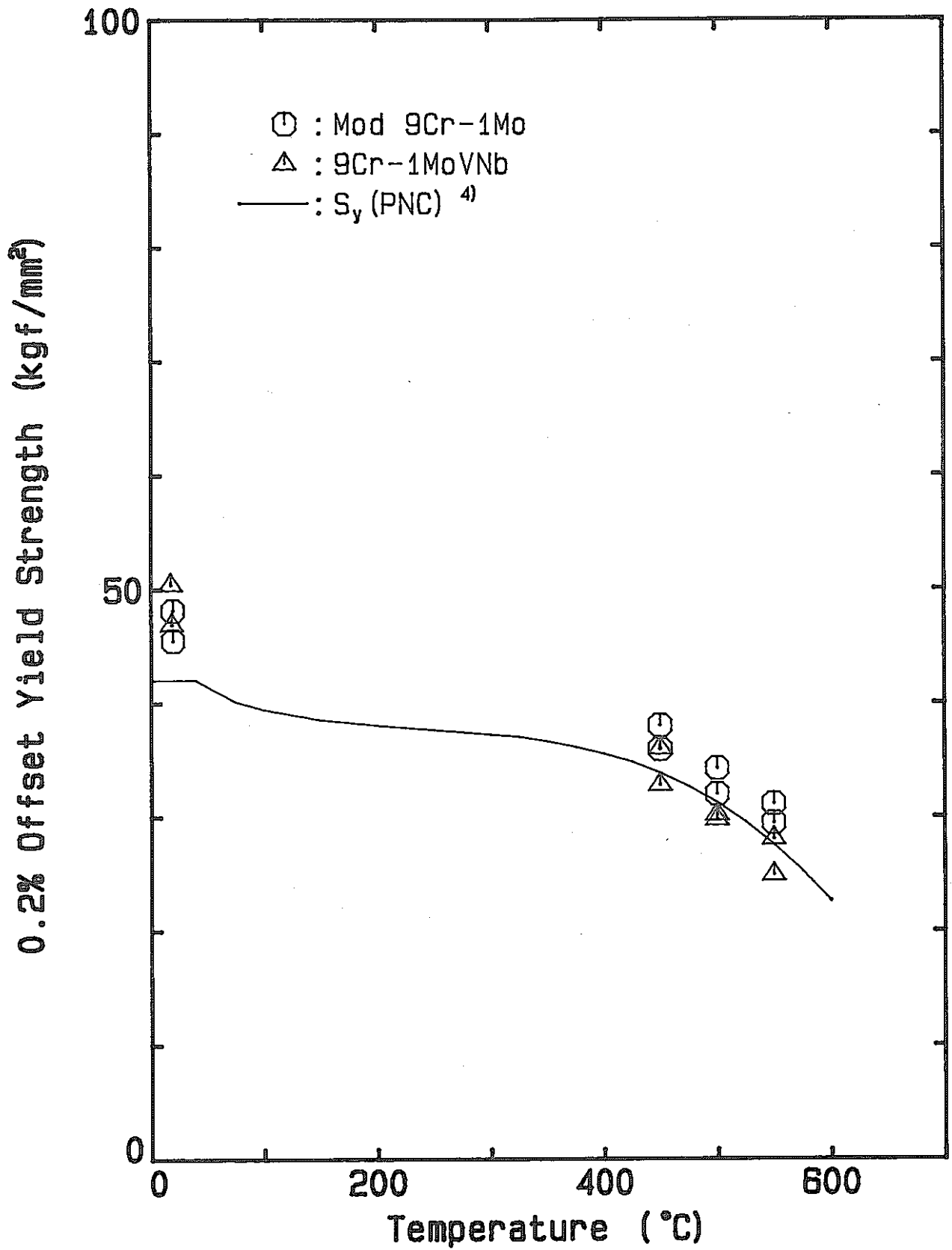


図 6.1 Mod.9Cr-1Mo 鋼板材および 9Cr-1MoVNB 鋼板材の 0.2% 耐力
 Fig.6.1 0.2% Offset Yield Strength for Mod.9Cr-1Mo Steel Plate and 9Cr-1MoVNB Steel Plate

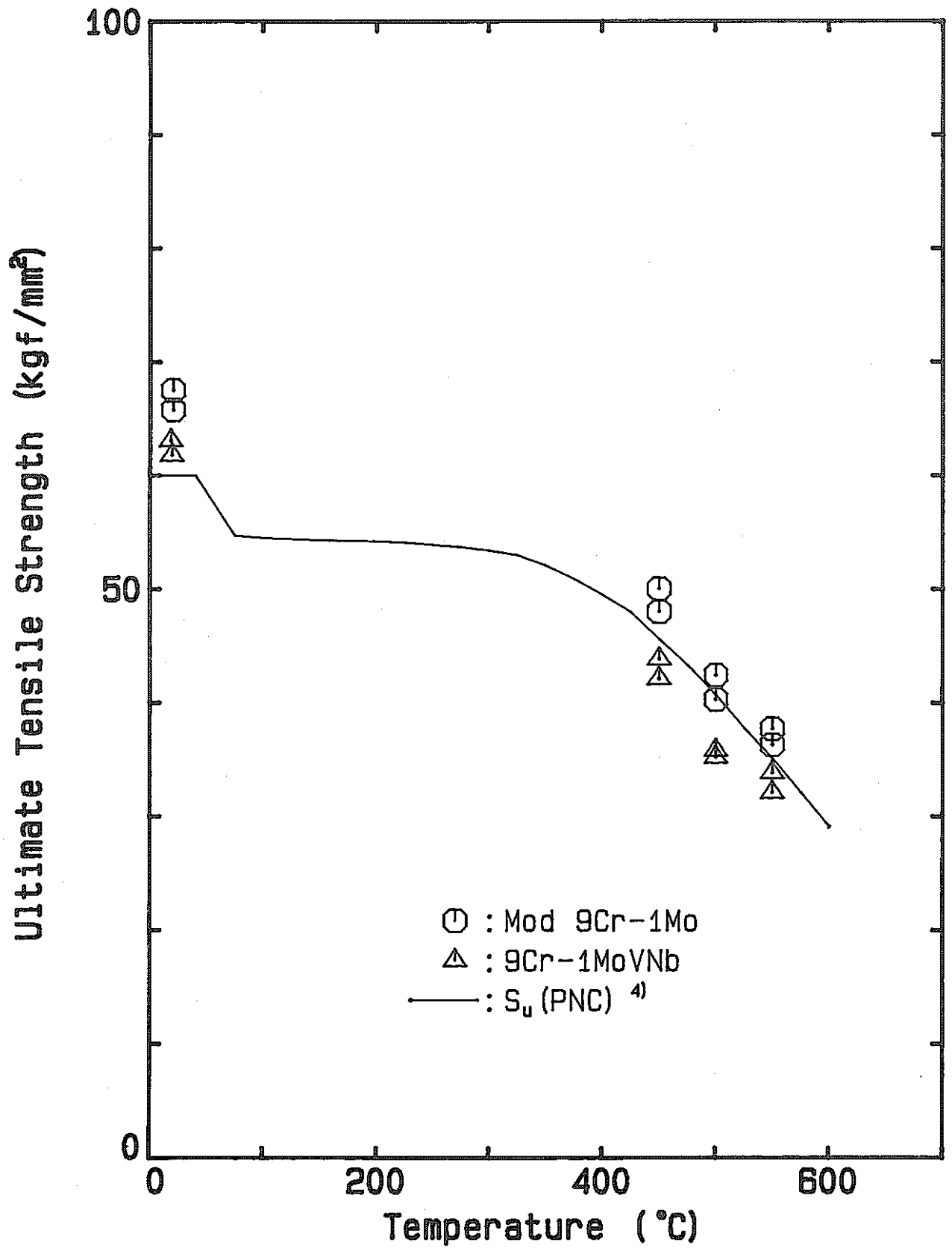


図 6.2 Mod.9Cr-1Mo 鋼板材および 9Cr-1MoVNb 鋼板材の引張強さ
 Fig.6.2 Ultimate Tensile Strength for Mod.9Cr-1Mo Steel Plate and 9Cr-1MoVNb Steel Plate

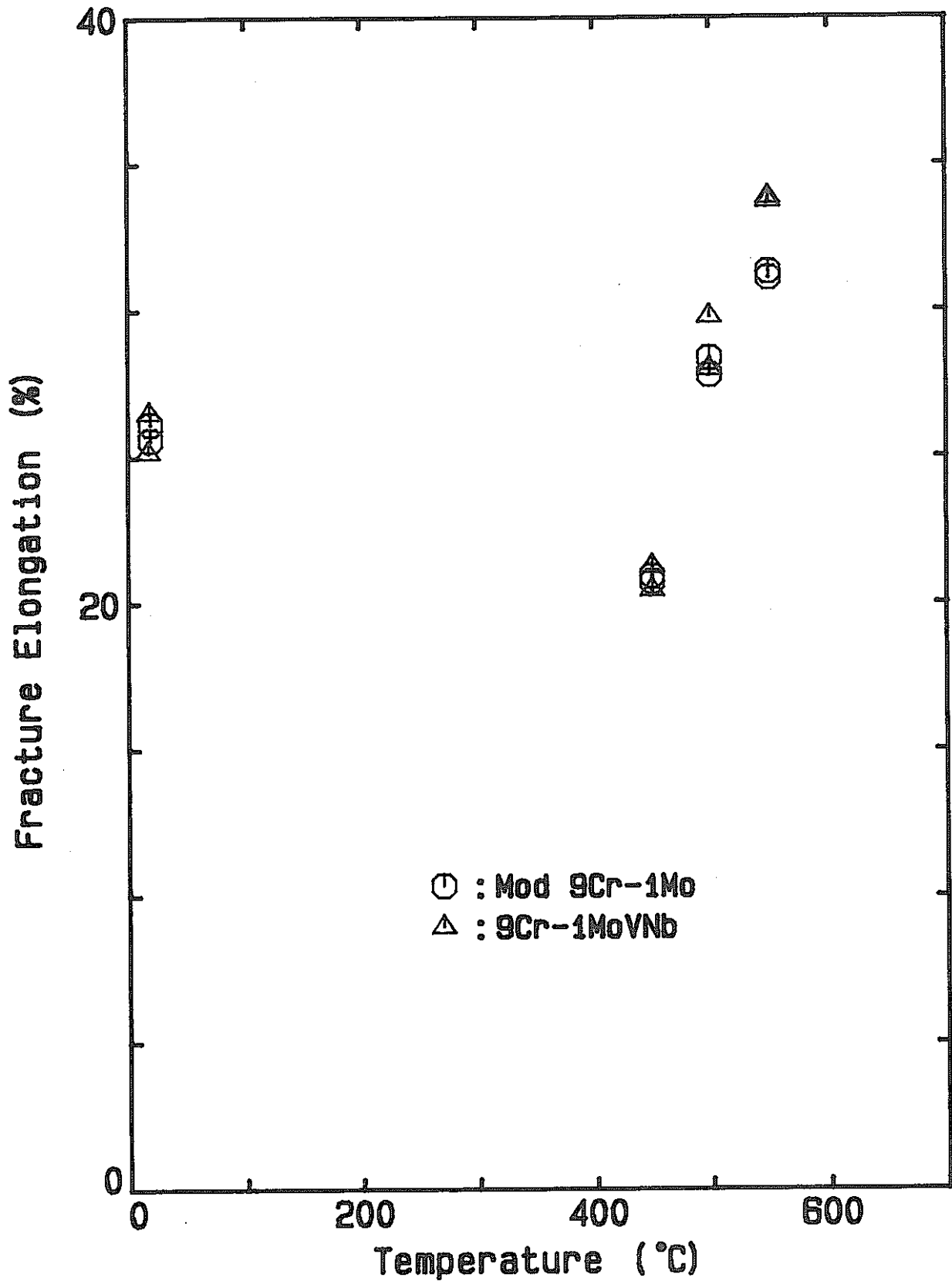


図 6.3 Mod.9Cr-1Mo 鋼板材および 9Cr-1MoVNB 鋼板材の引張破断伸び
 Fig.6.3 Fracture Elongation for Mod.9Cr-1Mo Steel Plate and 9Cr-1MoVNB Steel Plate

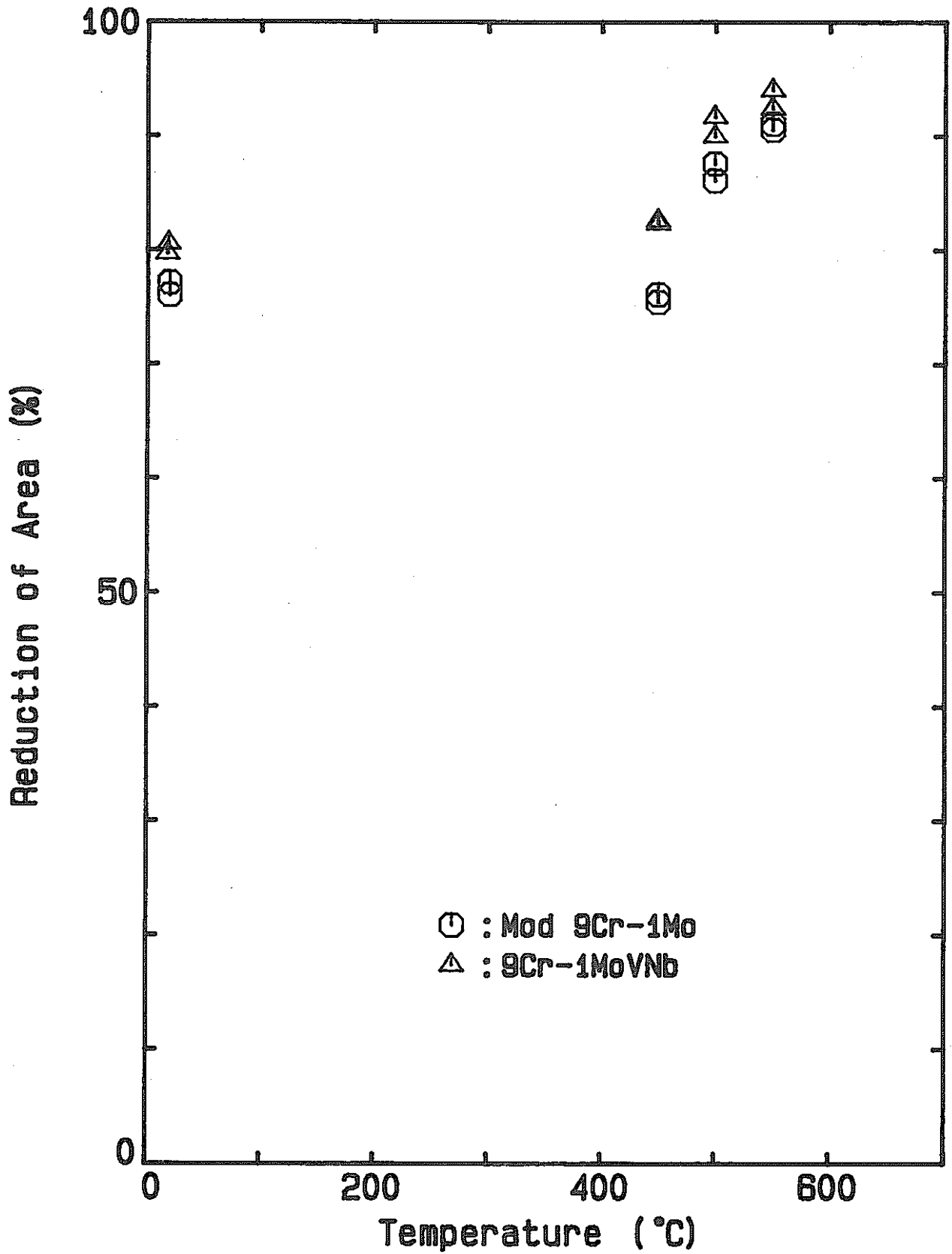


図 6.4 Mod.9Cr-1Mo 鋼板材および9Cr-1MoVNb 鋼板材の引張破断絞り
 Fig.6.4 Reduction of Area for Mod.9Cr-1Mo Steel Plate and 9Cr-1MoVNb Steel Plate

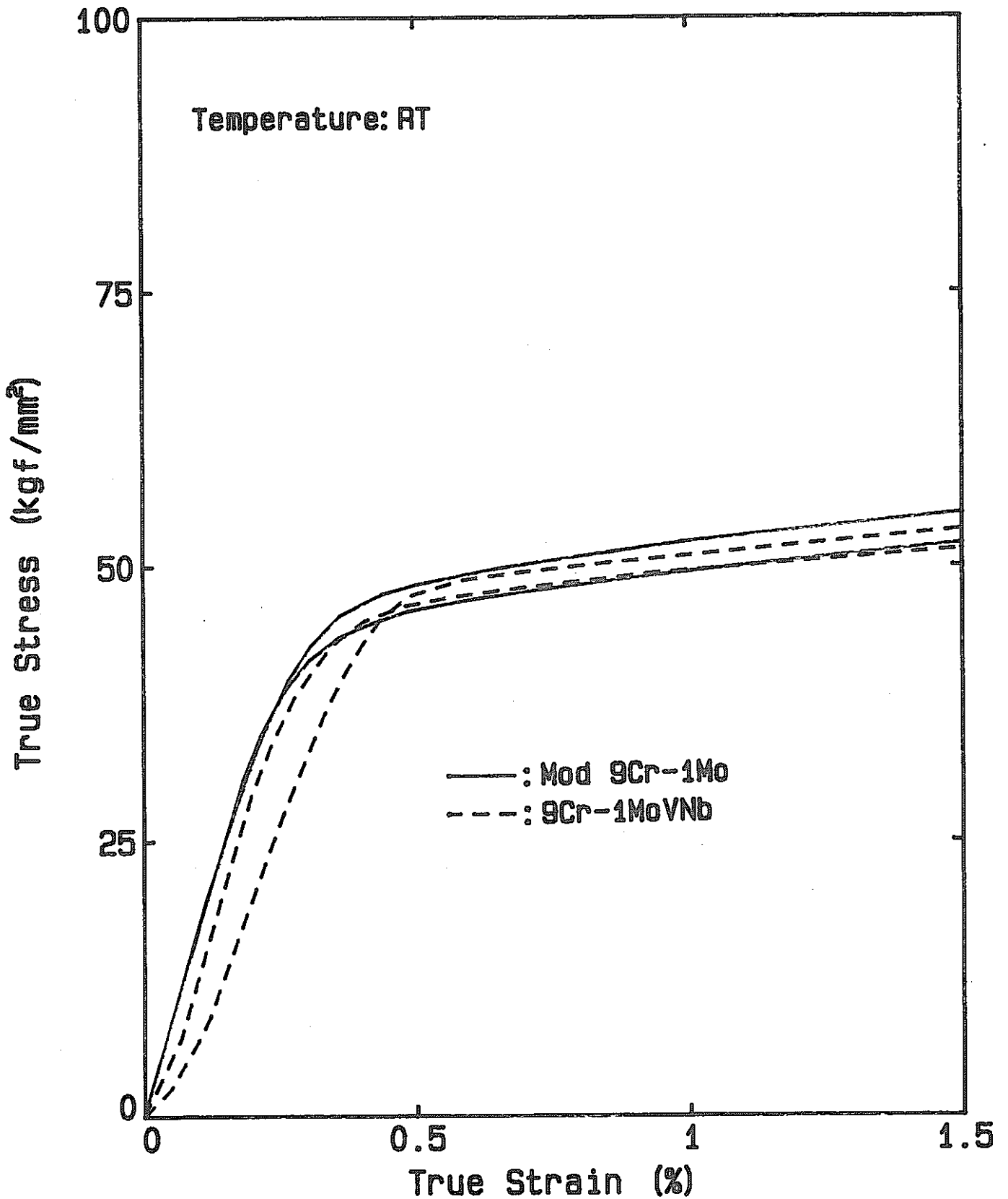


図 6.5 室温における Mod.9Cr-1Mo 鋼板材および 9Cr-1MoVNb 鋼板材の真応力 - 真ひずみ特性

Fig.6.5 True Stress-True Strain Curves at R.T for Mod.9Cr-1Mo Steel Plate and 9Cr-1MoVNb Steel Plate

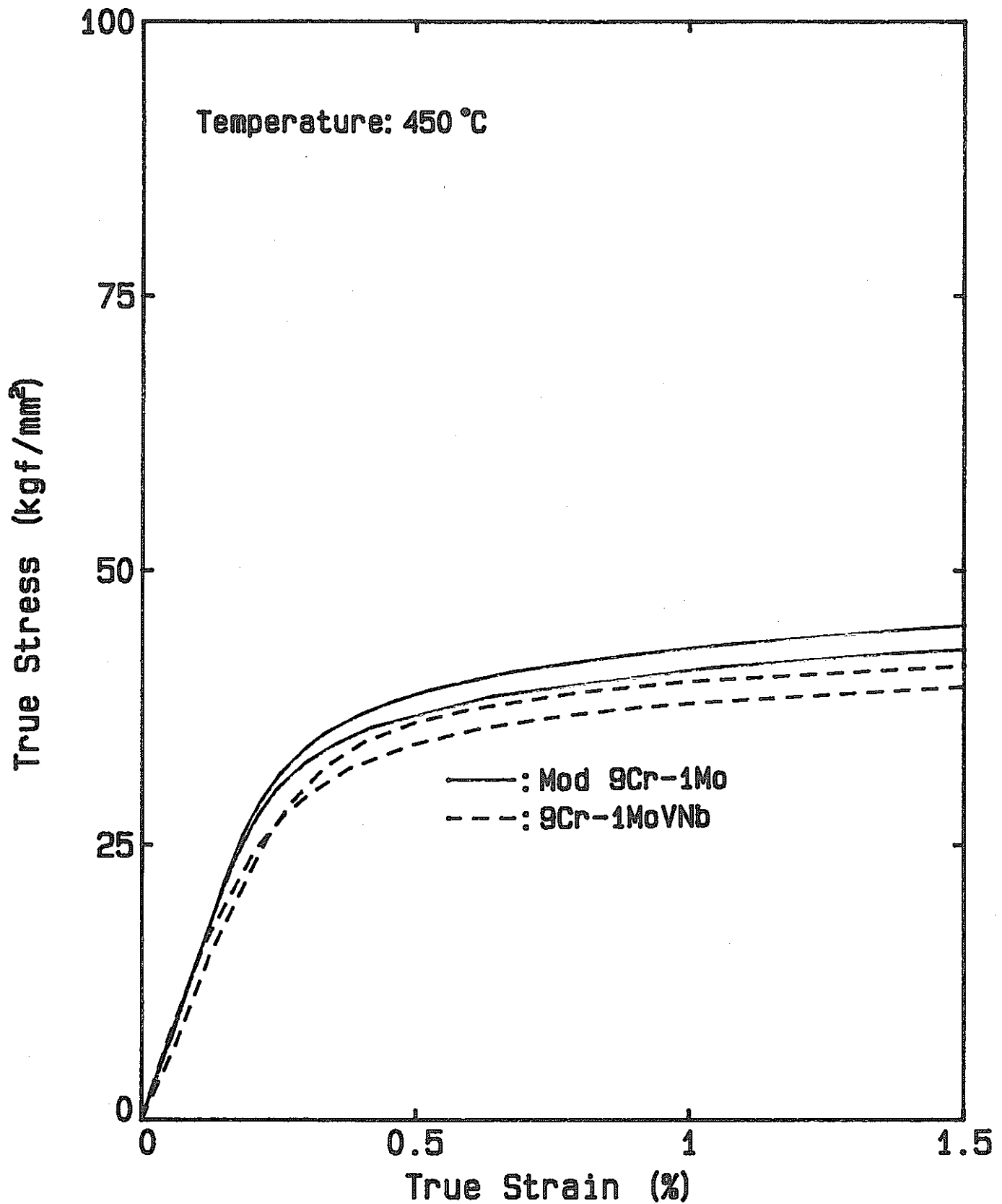


図 6.6 450 °C における Mod.9Cr-1Mo 鋼板材および 9Cr-1MoVNb 鋼板材の
真応力 - 真ひずみ特性

Fig.6.6 True Stress-True Strain Curves at 450 °C for Mod.9Cr-1Mo Steel Plate and 9Cr-1MoVNb Steel Plate

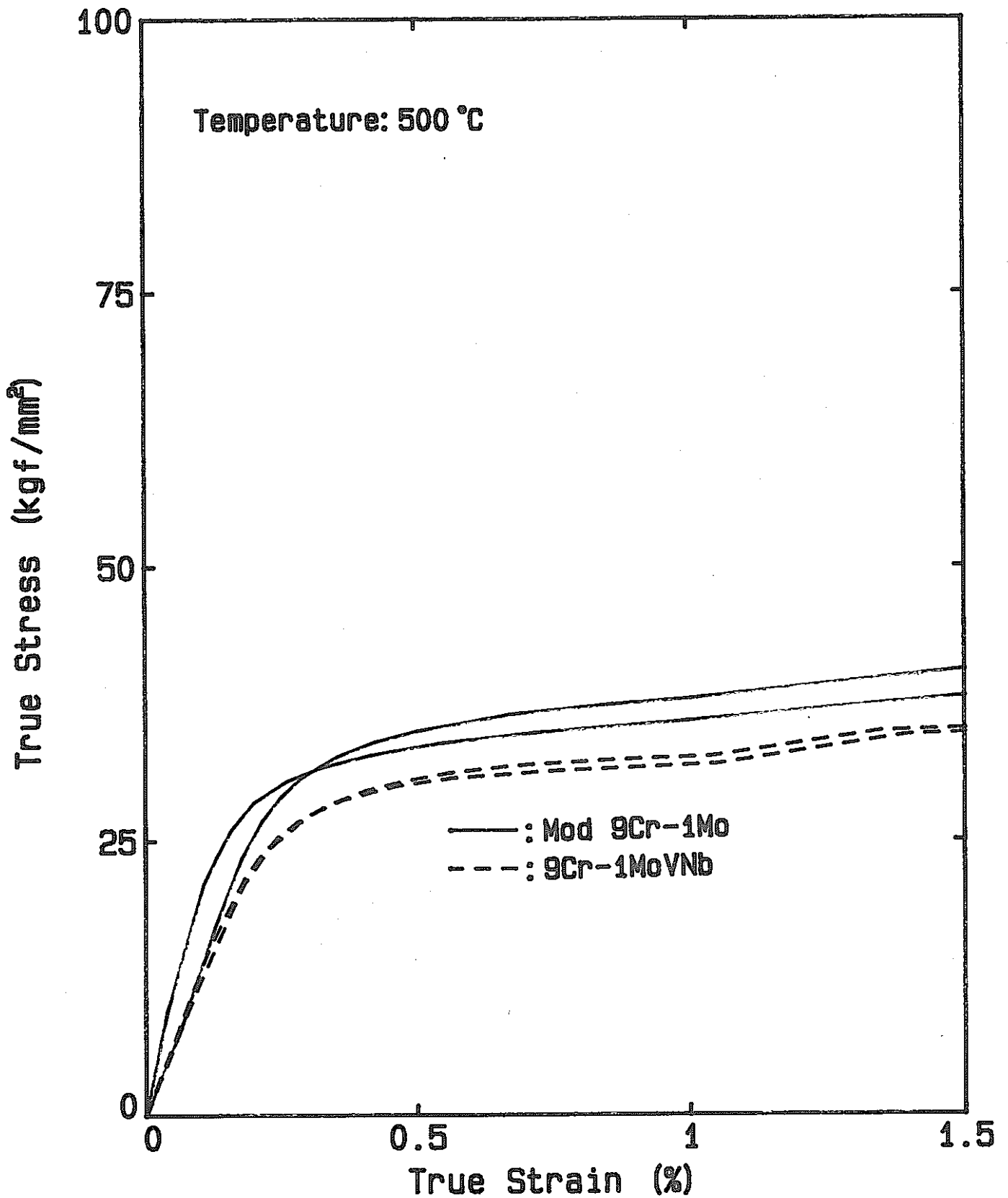


図 6.7 500°Cにおける Mod.9Cr-1Mo 鋼板材および 9Cr-1MoVNb 鋼板材の真応力 - 真ひずみ特性

Fig.6.7 True Stress-True Strain Curves at 500°C for Mod.9Cr-1Mo Steel Plate and 9Cr-1MoVNb Steel Plate

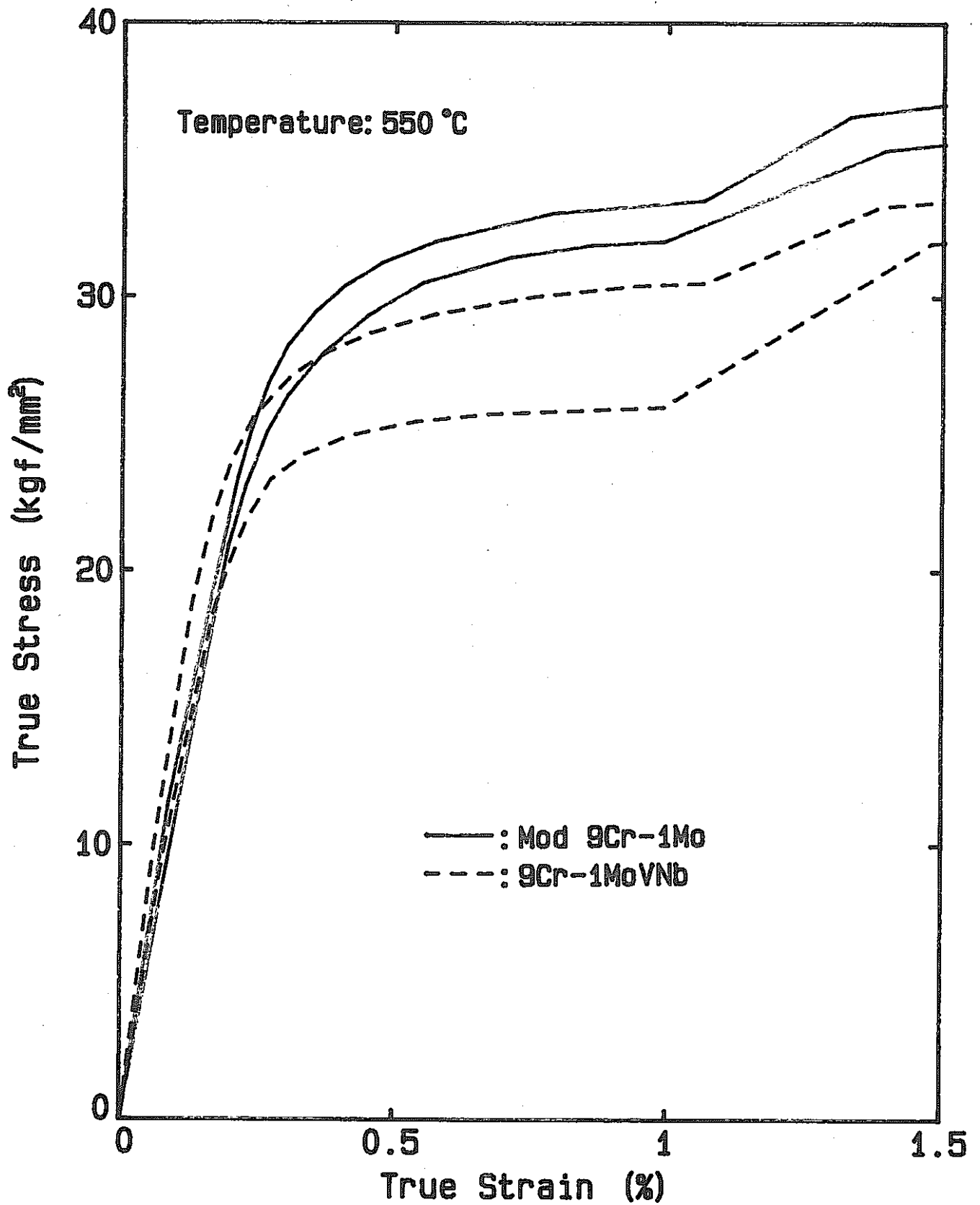


図 6.8 550°C における Mod.9Cr-1Mo 鋼板材および 9Cr-1MoVNb 鋼板材の真応力 - 真ひずみ特性

Fig.6.8 True Stress-True Strain Curves at 550°C for Mod.9Cr-1Mo Steel Plate and 9Cr-1MoVNb Steel Plate

6. 2 クリープ試験結果

Mod. 9Cr-1Mo鋼板材および9Cr-1MoVNb鋼板材のクリープ試験結果一覧と破断後の試験片外観を表6. 3と写真6. 3および表6. 4と写真6. 4にそれぞれ示す。また、500℃および550℃におけるクリープ曲線を両対数表示で図6. 9および図6. 10、真数表示で図6. 11および図6. 12にそれぞれ示す。

図6. 13および図6. 14は500℃および550℃のクリープ破断時間と応力の関係を示したものである。比較のため、 S_R 値（材料強度基準等（暫定値））⁴⁾も併記している。未破断データも含まれているが、全体的な傾向としては、9Cr-1MoVNb鋼板材に比してMod. 9Cr-1Mo鋼板材の方がクリープ破断強度が高い結果となっている。また、 S_R 値と比較すると、500℃および550℃とも9Cr-1MoVNb鋼板材では、同等か若干低目の値を示している。一方、Mod. 9Cr-1Mo鋼板材では大部分が未破断データであるが、 S_R 値と同等か若干上回る傾向を示している。図6. 15および図6. 16は500℃および550℃における応力と定常クリープ速度の関係を現在までに得られているものについて示したものである。

図6. 17および図6. 18は500℃および550℃における破断伸びと破断時間の関係を示したものである。クリープ破断強度とは逆に9Cr-1MoVNb鋼板材の方がMod. 9Cr-1Mo鋼板材よりもクリープ破断延性が大きい傾向を示している。

表6.3 クリープ試験結果

Table 6.3 Results of Creep Tests

材料 Mod. 9Cr-1Mo			化学成分 (wt%)										溶接法			
材料製造者			C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Nb	V	T.Al	N	—	
新日鉄			0.10	0.26	0.42	0.006	0.001	0.1	0.884	0.96	0.08	0.22	0.005	0.068	試験雰囲気	試験場所
素材形状寸法			熱処理		740 °C × 8.4 hr							大気	川崎重工業(株)			
温度 (°C)	分類	試験片番号	応力 (kgf/mm ²)	破断時間 (h)	破断伸び (%)	絞り (%)	破断位置 (JIS Z-2241)	負荷完了時ひずみ (%)	定常クリープ速度 (%/h)	三次クリープ開始時ひずみ (%)	三次クリープ開始時間 (hr)	一次クリープひずみ (%)				
500	母材	MC9C-1	32	219.2	21.5	85.8	B	0.27	1.86×10^{-2}	3.5	149.8	0.25				
"	"	MC9C-3	29	> 1000												
"	"	MC9C-5	25.6	> 1000												
"	"	MC9C-7	23.5	> 1000												
550	母材	MC9C-2	21	> 1000												
"	"	MC9C-4	20	> 1000												
"	"	MC9C-6	18.7	> 1000												
"	"	MC9C-8	17.8	> 1000												


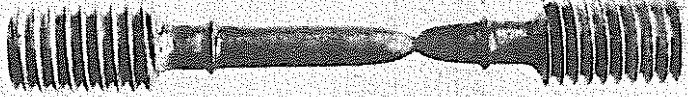
試験温度 (°C)	試験片番号	
500	MC9C-1	
	MC9C-3	未 破 断
	MC9C-5	未 破 断
	MC9C-7	未 破 断
550	MC9C-2	未 破 断
	MC9C-4	未 破 断
	MC9C-6	未 破 断
	MC9C-8	未 破 断
試 験 材 料		M o d . 9 C r - 1 M o 鋼 板 材

写真 6. 3 破断後のMod. 9Cr-1Mo 鋼板材クリープ試験片外観
 Photo. 6.3 Appearance after Tensile Tests for Mod. 9Cr-1Mo Steel Plate

表6.4 クリープ試験結果

Table 6.4 Results of Creep Tests

材料9Cr-1MoVNb		化学成分 (wt%)											溶接法		
材料製造者		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Nb	V	Sol. Al	T. N	—	
日本鋼管		0.08	0.13	0.72	0.009	0.002	0.18	8.01	0.92	0.21	0.05	0.006	0.012	試験雰囲気	試験場所
素材形状寸法		熱処理											大気	川崎重工業㈱	
25' × 1000" × 1000'		710 °C × 8.4hr													
温度 (°C)	分類	試験片番号	応力 (kgf/mm ²)	破断時間 (h)	破断伸び (%)	絞り (%)	破断位置 (JIS Z-2241)	負荷完了時ひずみ (%)	定常クリープ速度 (%/h)	三次クリープ開始時ひずみ (%)	三次クリープ開始時間 (hr)	一次クリープひずみ (%)			
500	母材	LC9C-1	31	67.6	26.6	87.4	B	0.09	0.13	5.4	35.6	0.53			
"	"	LC9C-3	30	105.6	28.6	87.9	B	0.006	9.64×10^{-2}	5.0	43.8	0.54			
"	"	LC9C-5	27.5	165.1	23.6	86.8	B	0.19	2.22×10^{-2}	2.8	100.6	0.15			
"	"	LC9C-7	26	> 600											
550	母材	LC9C-2	24	37.0	28.2	90.6	B	0.08	0.15	4.1	24.2	0.29			
"	"	LC9C-4	22	74.5	29.1	91.2	B	0.16	7.71×10^{-2}	4.2	46.4	0.25			
"	"	LC9C-6	20.4	178.3	29.3	90.7	B	0	8.05×10^{-2}	9.1	105.2	0.40			
"	"	LC9C-8	19.3	> 600											

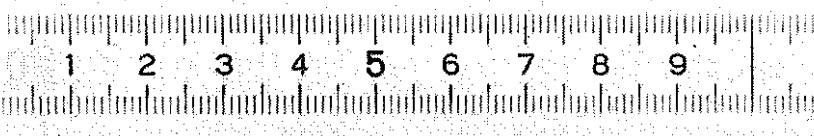
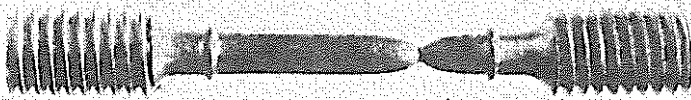
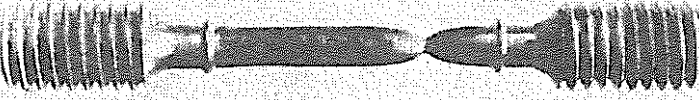
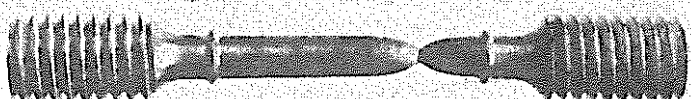
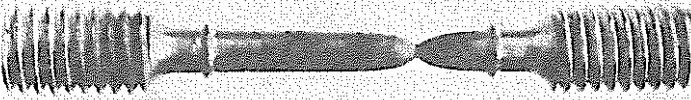
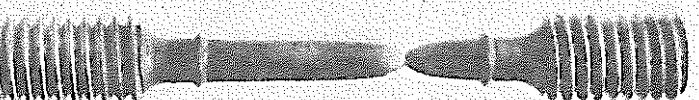
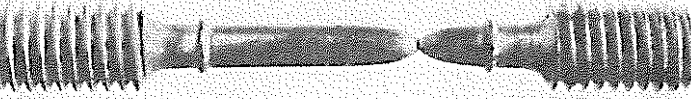
試験温度 (°C)	試験片番号	
500	LC9C-1	
	LC9C-3	
	LC9C-5	
	LC9C-7	未 破 断
550	LC9C-2	
	LC9C-4	
	LC9C-6	
	LC9C-8	未 破 断
試験材料		9Cr-1MoVNb 鋼板材

写真6.4 破断後の9Cr-1MoVNb鋼板材クリープ試験片外観
 Photo. 6.4 Appearance after Tensile Tests for 9Cr-1MoVNb Steel Plate

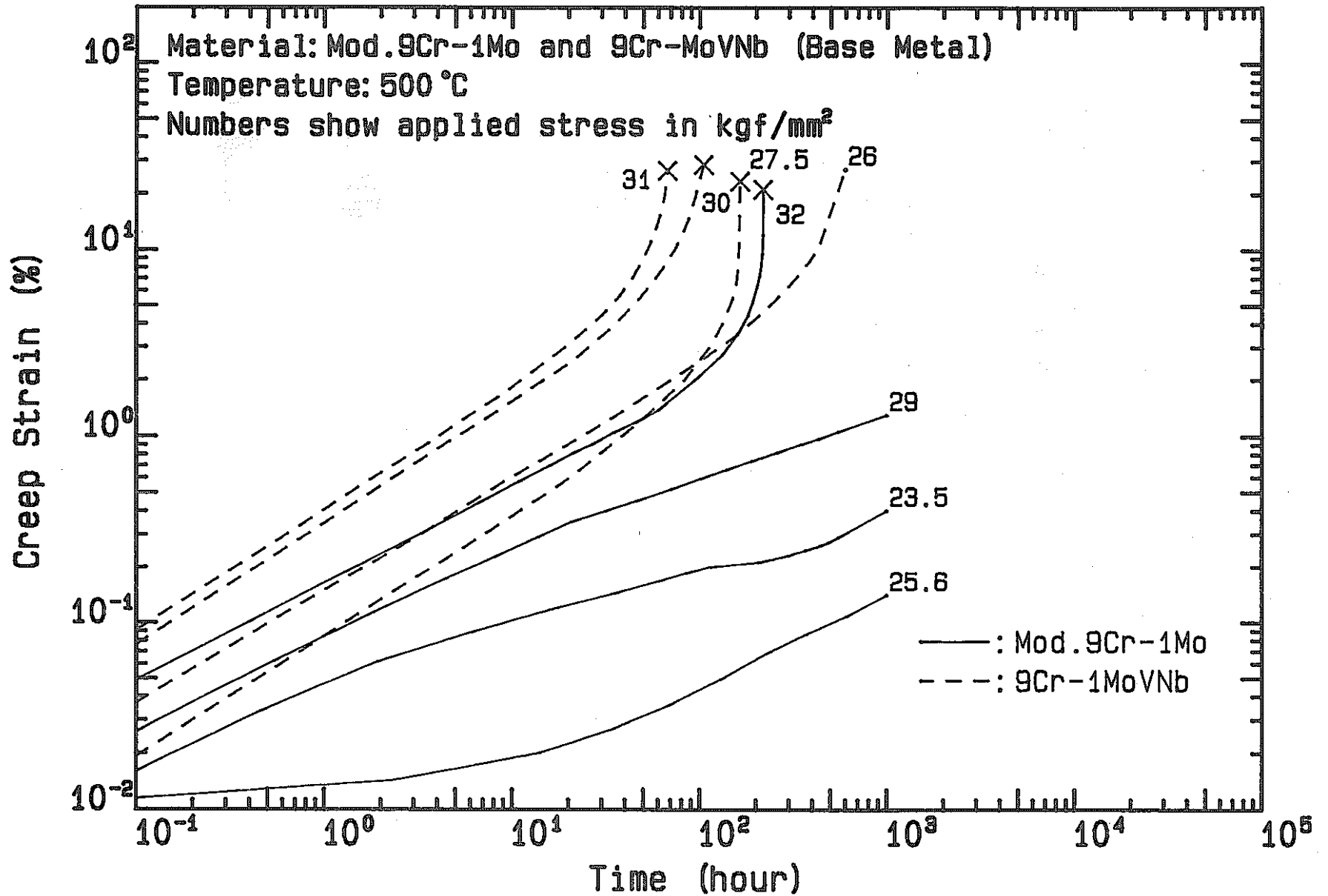


図 6.9 500°C における Mod.9Cr-1Mo 鋼板材および 9Cr-1MoVNB 鋼板材の
クリープ曲線
Fig.6.9 Creep Curves at 500°C for Mod.9Cr-1Mo Steel Plate
and 9Cr-1MoVNB Steel Plate

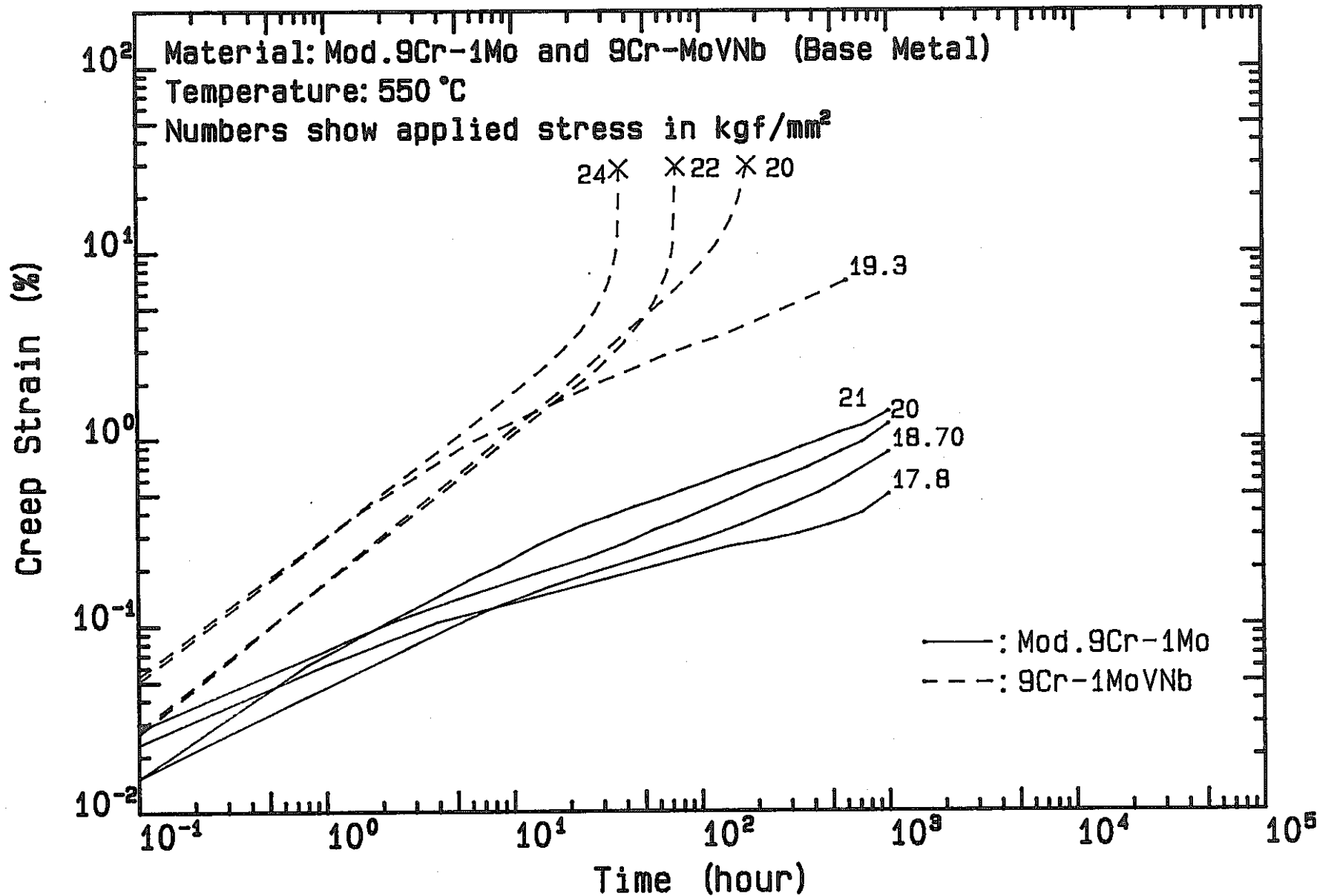


図 6.10 550°CにおけるMod.9Cr-1Mo鋼板材および9Cr-1MoVNB鋼板材のクリープ曲線

Fig.6.10 Creep Curves at 550°C for Mod.9Cr-1Mo Steel Plate and 9Cr-1MoVNB Steel Plate

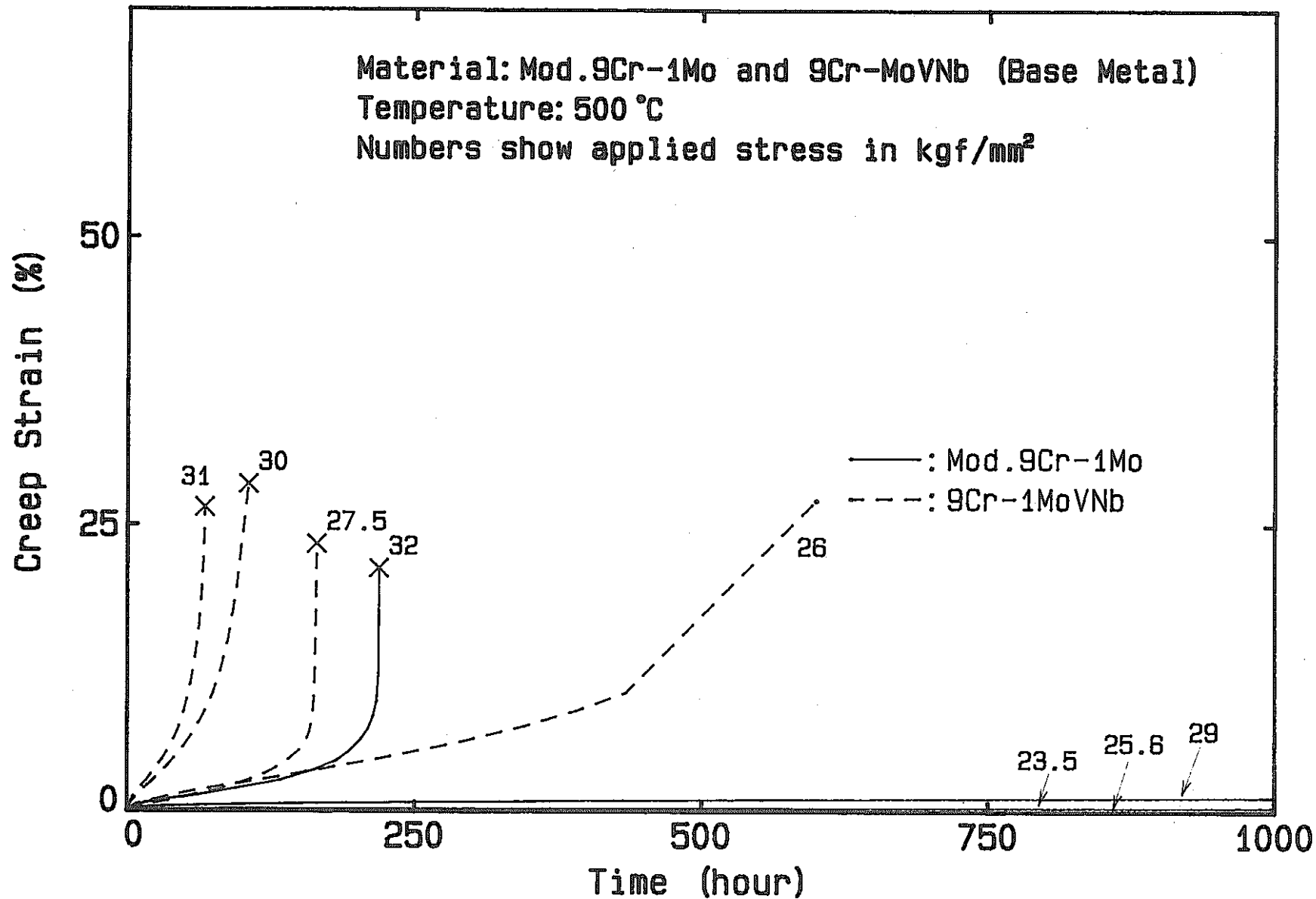


図 6.11 500°CにおけるMod.9Cr-1Mo鋼板材および9Cr-1MoVNb鋼板材のクリープ曲線

Fig.6.11 Creep Curves at 500°C for Mod.9Cr-1Mo Steel Plate and 9Cr-1MoVNb Steel Plate

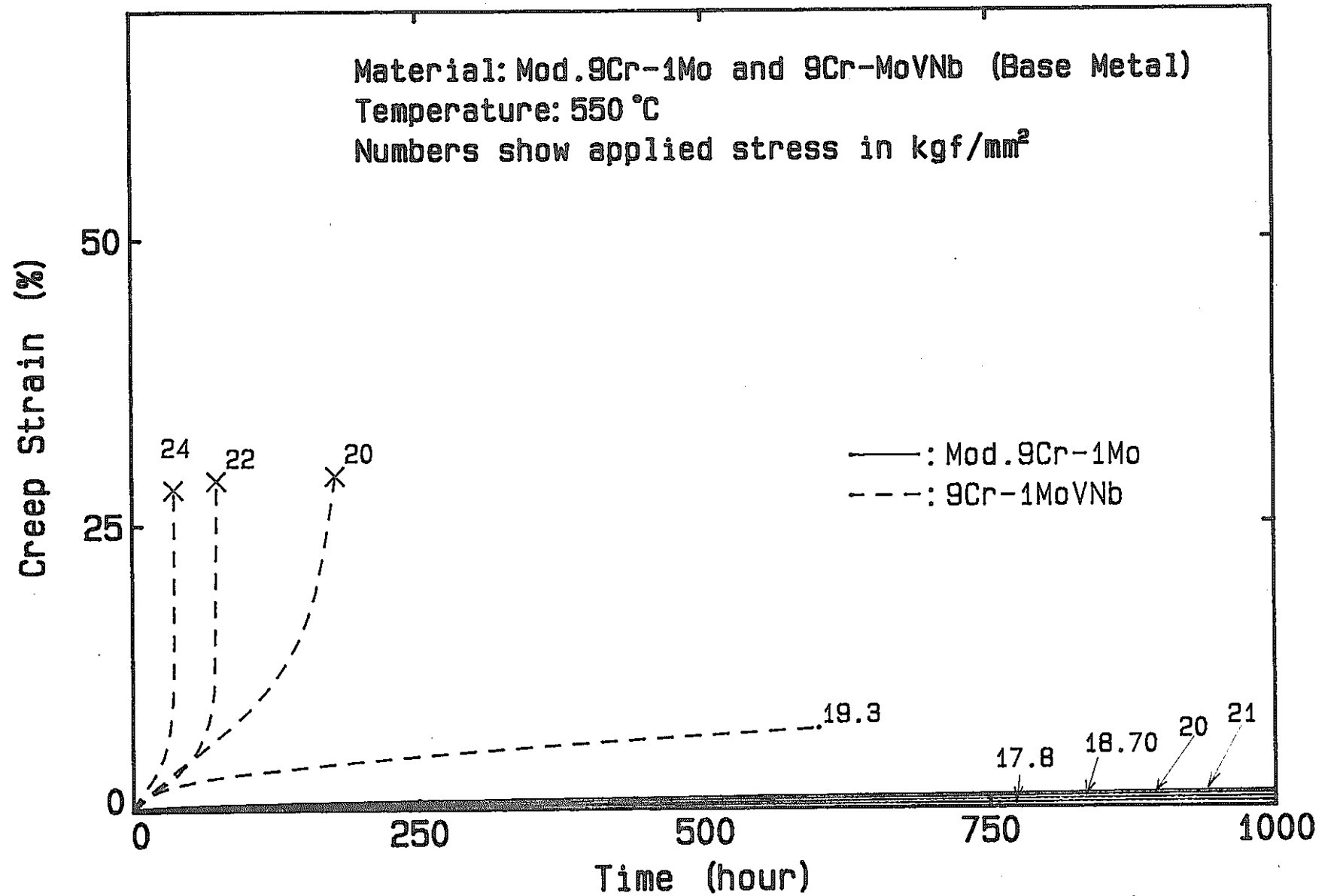


図 6.12 550°Cにおける Mod.9Cr-1Mo 鋼板材および 9Cr-1MoVNb 鋼板材のクリープ曲線

Fig.6.12 Creep Curves at 550°C for Mod.9Cr-1Mo Steel Plate and 9Cr-1MoVNb Steel Plate

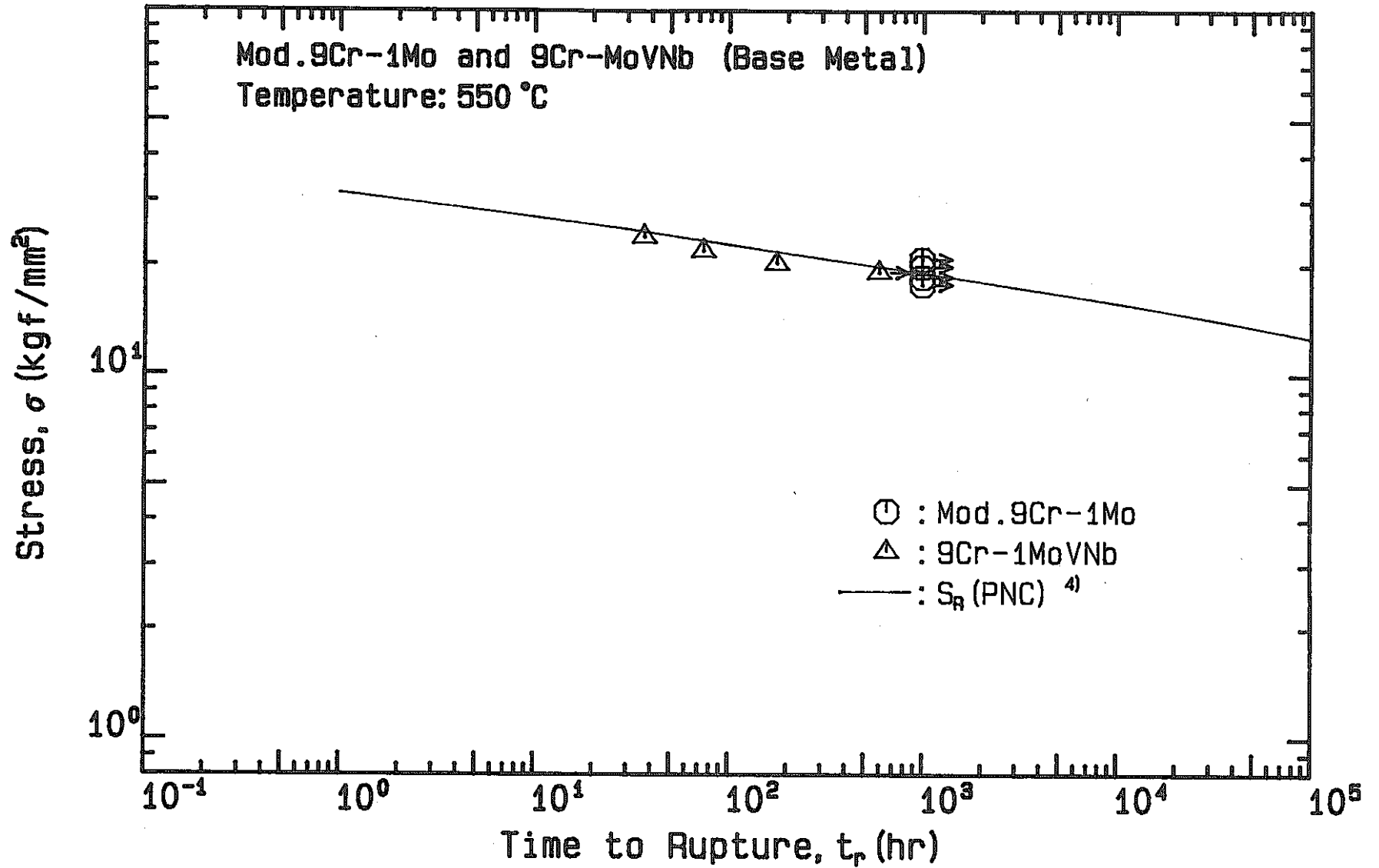


図 6.13 500°CにおけるMod.9Cr-1Mo鋼板材および9Cr-1MoVNb鋼板材のクリープ破断時間

Fig.6.13 Creep Rupture Time at 500°C for Mod.9Cr-1Mo Steel Plate and 9Cr-1MoVNb Steel Plate

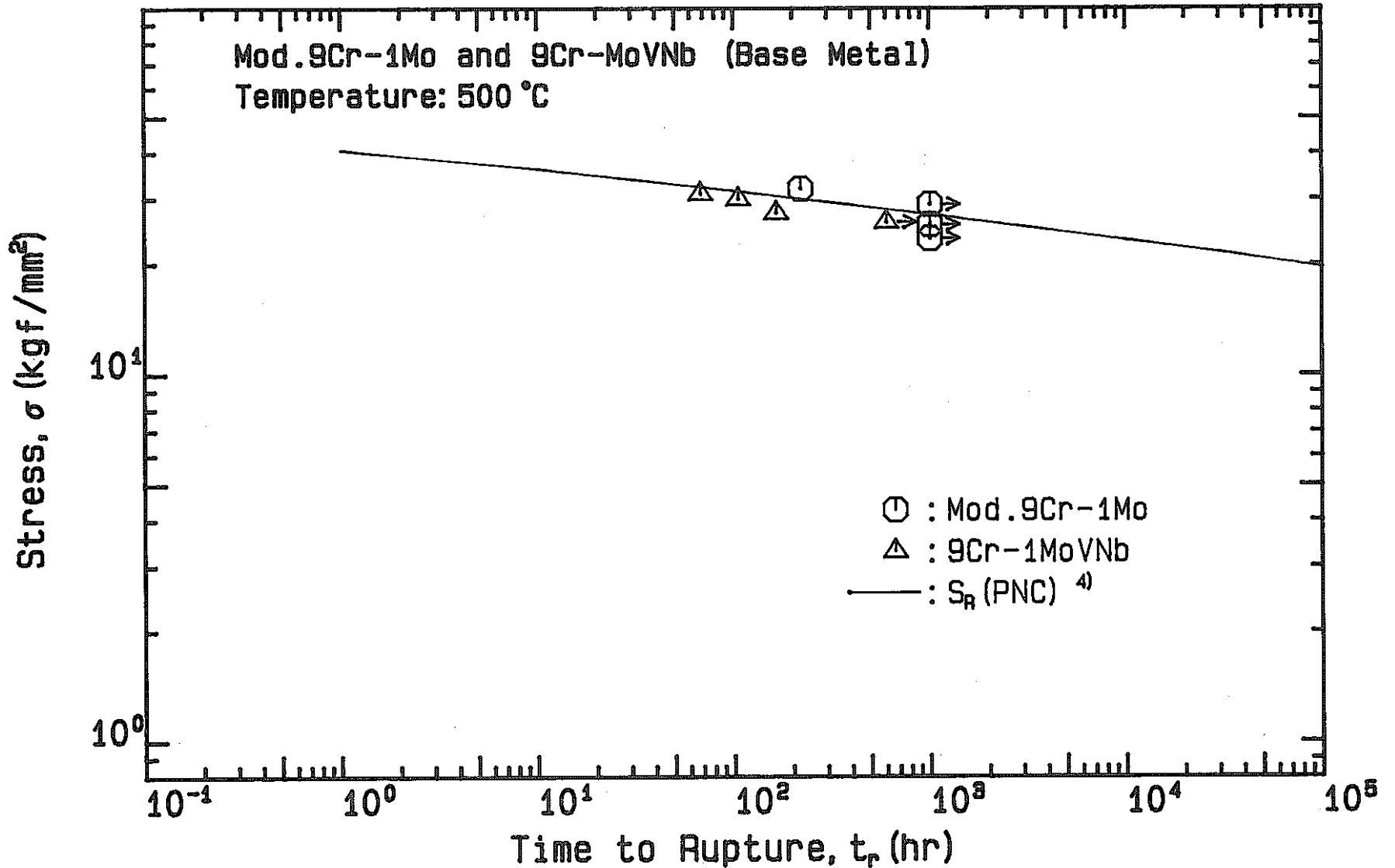


図 6.14 550°CにおけるMod.9Cr-1Mo鋼板材および9Cr-1MoVNb鋼板材のクリープ破断時間

Fig.6.14 Creep Rupture Time at 550°C for Mod.9Cr-1Mo Steel Plate and 9Cr-1MoVNb Steel Plate

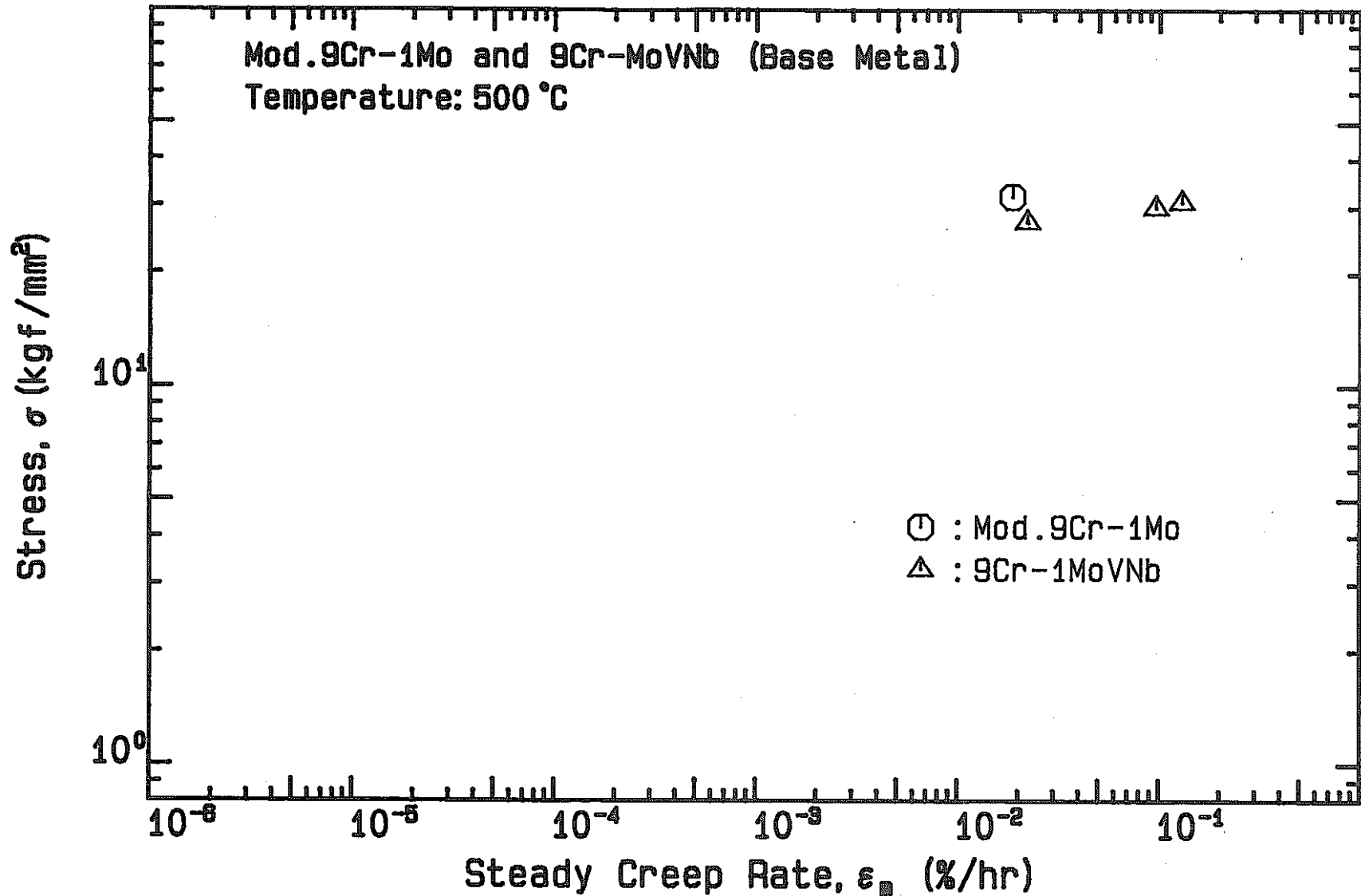


図 6.15 500°CにおけるMod.9Cr-1Mo鋼板材および9Cr-1MoVNb鋼板材の
応力と定常クリープ速度の関係

Fig.6.15 Relation between Stress and Steady Creep Rate at
500°C for Mod.9Cr-1Mo Steel Plate and 9Cr-1MoVNb
Steel Plate

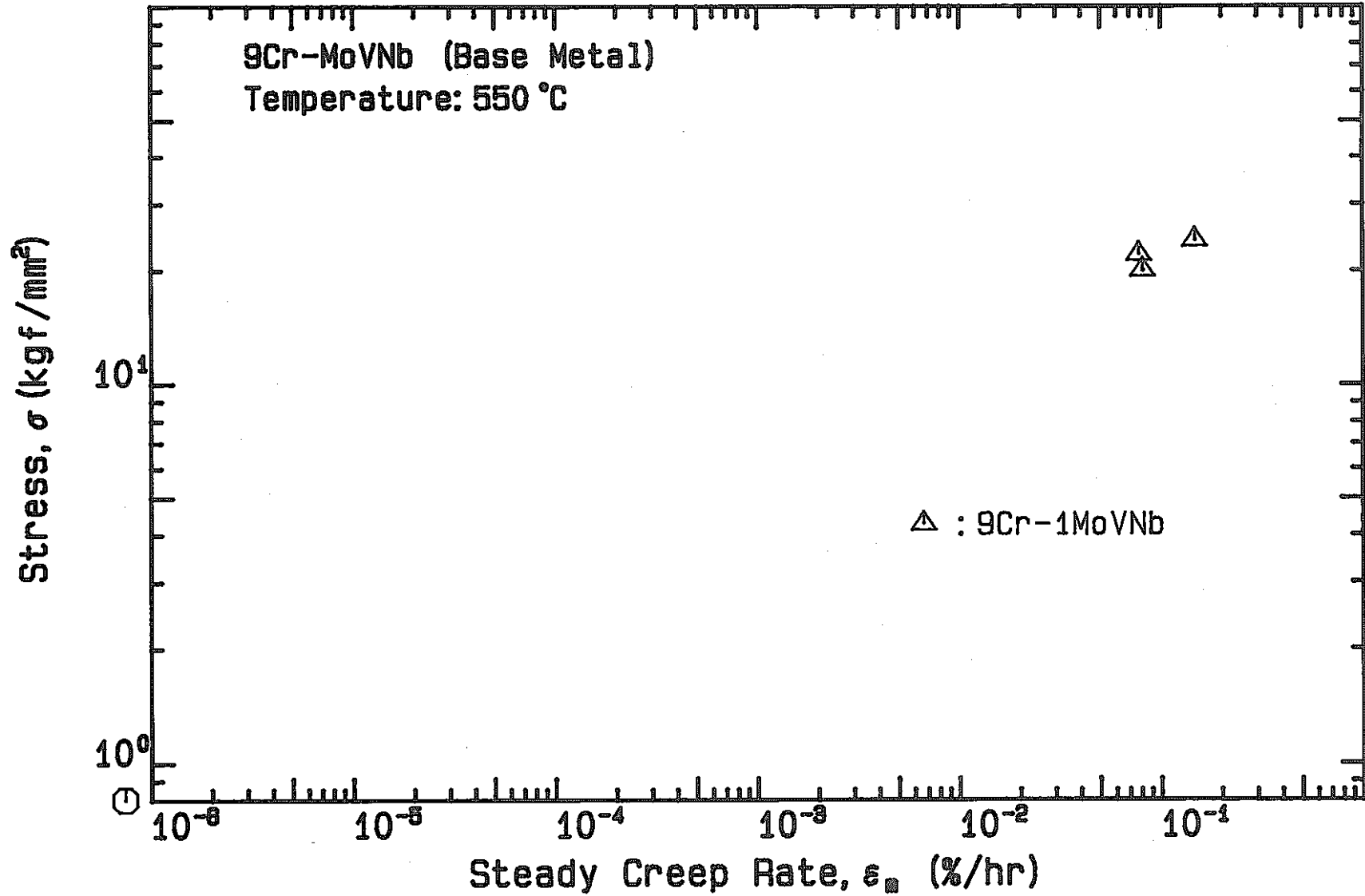


図 6.16 550°CにおけるMod.9Cr-1Mo鋼板材および9Cr-1MoVNb鋼板材の
応力と定常クリープ速度の関係

Fig.6.16 Relation between Stress and Steady Creep Rate at
550°C for Mod.9Cr-1Mo Steel Plate and 9Cr-1MoVNb
Steel Plate

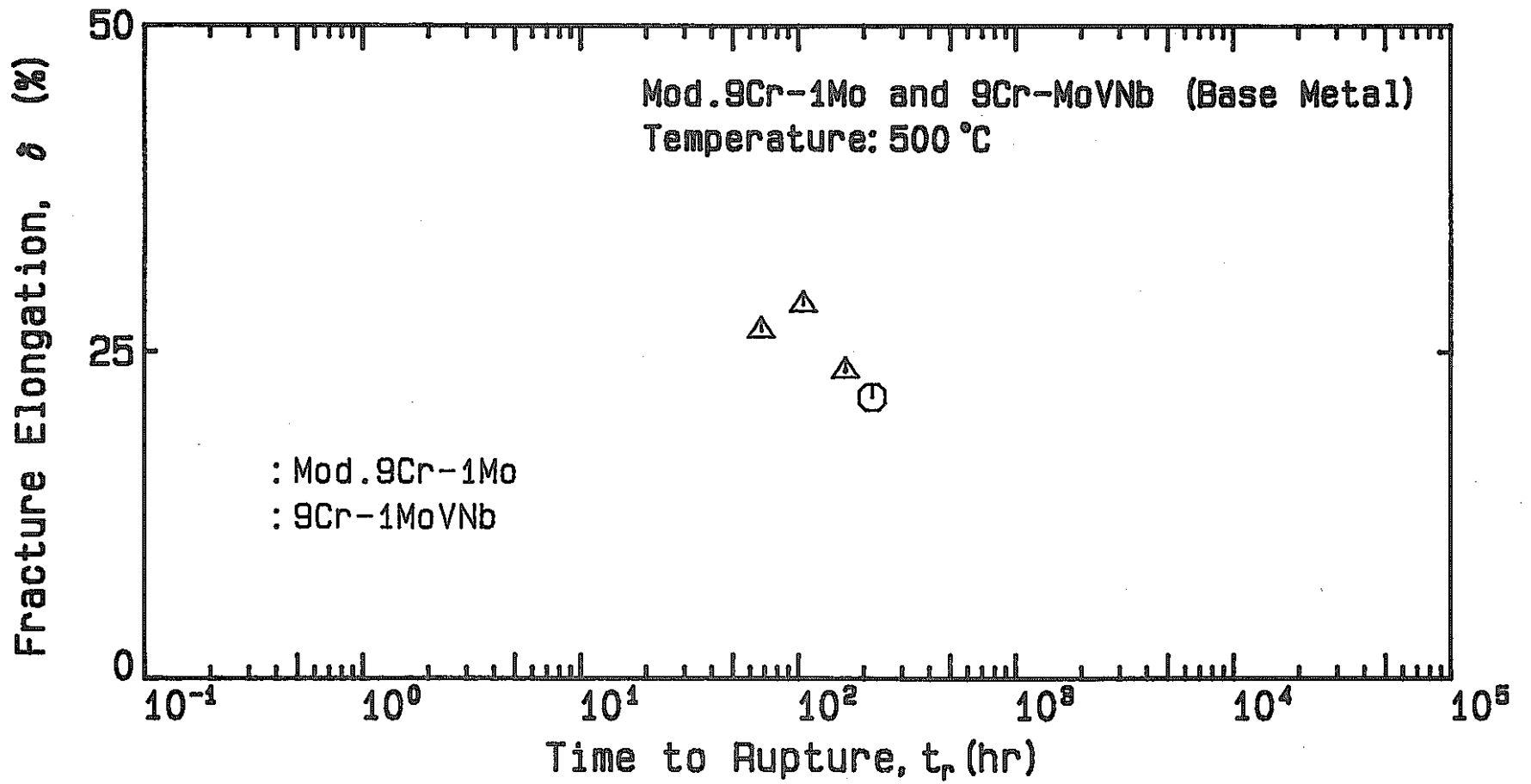


図 6.17 500°CにおけるMod.9Cr-1Mo鋼板材および9Cr-1MoVNb鋼板材の破断伸びと破断時間の関係

Fig.6.17 Relation between Fracture Elongation and Time to Rupture at 500°C for Mod.9Cr-1Mo Steel Plate and 9Cr-1MoVNb Steel Plate

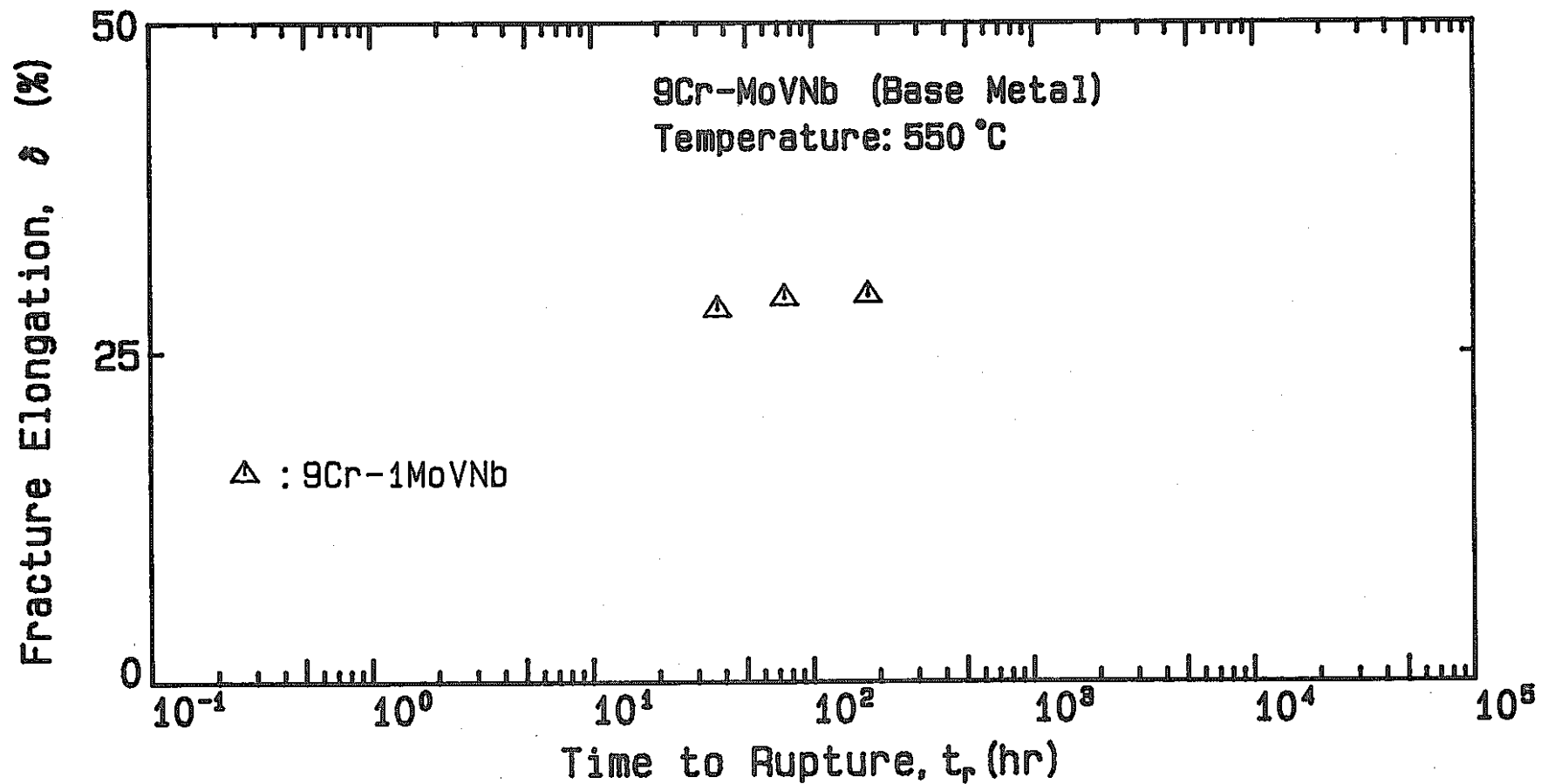


図 6.18 550°CにおけるMod.9Cr-1Mo鋼板材および9Cr-1MoVNb鋼板材の破断伸びと破断時間の関係

Fig.6.18 Relation between Fracture Elongation and Time to Rupture at 550°C for Mod.9Cr-1Mo Steel Plate and 9Cr-1MoVNb Steel Plate

7. SUS304鋼/9Cr系鋼異材継手の高温強度試験結果

7. 1 高温引張試験結果

SUS304/Mod. 9Cr-1Mo異材継手およびSUS304/9Cr-1MoVNb異材継手の高温引張試験結果を表7. 1および表7. 2にそれぞれ示す。

図7. 1, 図7. 2, 図7. 3および図7. 4はSUS304/Mod. 9Cr-1Mo異材継手およびSUS304/9Cr-1MoVNb異材継手の0. 2%耐力, 引張強さ, 破断伸びおよび絞りを示したものである。図7. 1および図7. 2にはMod. 9Cr-1Mo鋼板材, 9Cr-1MoVNb鋼板材, SUS304鋼板材およびMod. 9Cr-1Mo (NT)の S_y 値または S_u 値⁴⁾も比較のため併記している。図7. 1で示す0. 2%耐力および図7. 3で示す破断伸びは標点間の平均ひずみを基に算出したものである。なお、異材継手試験片標点間の各種素材の割合はおおよそSUS304鋼(25%), インコネル系溶接金属(60%)およびMod. 9Cr-1Mo鋼または9Cr-1MoVNb鋼(15%)である。

異材継手の0. 2%耐力はSUS304鋼母材に比べかなり高いが、Mod. 9Cr-1Mo鋼および9Cr-1MoVNb鋼の母材に比べると同等か若干低下している。各材料に直列方向に引張る異材継手では、継手を構成する各材質のうち最も弱い個所で破断するため引張強さも破断位置の材質が持つ引張強さと等しいと考えられる。SUS304/Mod. 9Cr-1Mo異材継手の破断位置は室温を除き、SUS304鋼部であり、引張強さもSUS304鋼母材値にほぼ等しい。また、SUS304/9Cr-1MoVNb異材継手の500℃での破断位置はSUS304鋼部であり、引張強さもこの母材値と等しい結果を示している。一方、SUS304/9Cr-1MoVNb異材継手の室温および550℃では、破断位置は9Cr-1MoVNb鋼部であるが、比較した母材値より高い結果となっている。各母材値の引張強さを比較すると、Mod. 9Cr-1Mo鋼でおおよそ550℃, 9Cr-1MoVNbでおおよそ450℃まではSUS304鋼より強い傾向を示しており、これがSUS304鋼部で破断した原因の一つと考えられる。

絞りの結果は破断した材質の母材値とほぼ同様か若干低下している。

表7.1 引張試験結果
Table 7.1 Results of Tensile Tests

材料	SUS 304	素材製造者	素材形状寸法						試験場所			
	Mod. 9Cr-1Mo	新日鉄	40' × 1000 ^w × 1000' 25' × 1000 ^w × 1000'						川崎重工業(株)			
試験雰囲気		溶接法	熱処理									
大気		TIG	740°C × 8.4hr									
化学成分 (wt%)												
SUS 304	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Co				
	0.05	0.59	0.87	0.027	0.003	8.98	18.47	0.12				
Mod. 9Cr-1Mo	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Nb	V	T.Al	N
	0.10	0.26	0.42	0.006	0.001	0.1	0.884	0.96	0.08	0.22	0.005	0.068
温度 (°C)	試験片番号	引張試験結果										
		0.2%耐力 (kgf/mm ²)	引張強さ (kgf/mm ²)	破断伸び (%)	絞り (%)	破断位置*1 (JIS Z-2241)						
RT	TSMT01	39.531	69.029	33.60	58.76	WM						
"	" 02	39.726	68.308	29.93	51.58	WM						
500	" 03	29.689	42.405	20.15	77.10	HAZ (SUS304)						
"	" 04	30.737	41.531	21.36	76.71	HAZ (SUS304)						
550	" 05	27.842	39.404	20.00	75.43	HAZ (SUS304)						
"	" 06	27.067	38.962	19.51	74.41	HAZ (SUS304)						

*1 横継手試験片の破断位置は次の記号で示す。(BM:母材, WM:溶接金属
FL:ボンド部, HAZ:熱影響部)


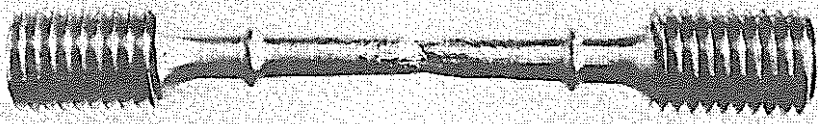
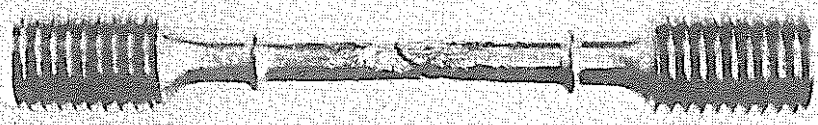
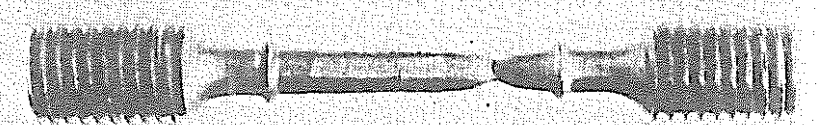
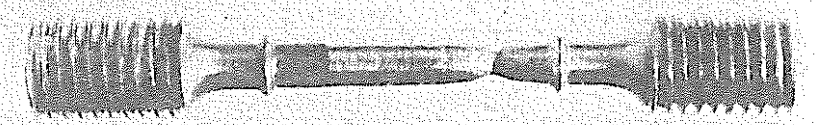
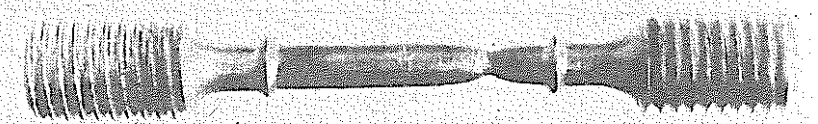
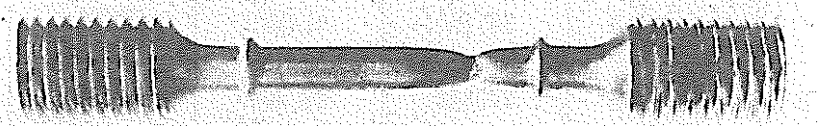
試験温度 (°C)	試験片番号	
RT	TSMT01	
	TSMT02	
500	TSMT03	
	TSMT04	
550	TSMT05	
	TSMT06	
試験材料		SUS304/Mod. 9Cr-1Mo異材継手

写真 7. 1 破断後の SUS304/Mod. 9Cr-1Mo 異材継手引張試験片外観

Photo. 7.1 Appearance after Tensile Tests for SUS304/Mod. 9Cr-1Mo
Dissimilar Welded Joint

表 7. 2 引張試験結果
Table 7.2 Results of Tensile Tests

材料	SUS 304		素材製造者		素材形状寸法				試験場所				
	9Cr-1MoVNB		新日鉄 日本鋼管		40' ×1000 ^w ×1000' 25' ×1000 ^w ×1000'				川崎重工業(株)				
試験雰囲気			溶接法		熱処理								
大気			T I G		710°C×8.4hr								
化 学 成 分 (w t %)													
S U S 3 0 4		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Co				
		0.05	0.59	0.87	0.027	0.003	8.98	18.47	0.12				
9Cr-1MoVNB		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Nb	V	Sol. Al	T. N
		0.08	0.13	0.72	0.009	0.002	0.18	8.01	0.92	0.21	0.05	0.006	0.012
温 度 (°C)	試験片番号		引 張 試 験 結 果										
			0.2%耐力 (kgf/mm ²)	引張強さ (kgf/mm ²)	破断伸び (%)	絞 り (%)	破断位置*1 (JIS Z-2241)						
RT	TSLT01		38.947	66.311	33.35	76.80	HAZ (9Cr-1MoVNB)						
"	" 02		40.010	66.811	33.50	75.91	HAZ (9Cr-1MoVNB)						
500	" 03		29.428	42.696	20.15	71.60	HAZ (SUS304)						
"	" 04		29.998	43.195	18.90	77.68	HAZ (SUS304)						
550	" 05		28.738	39.205	19.99	88.53	HAZ (9Cr-1MoVNB)						
"	" 06		29.318	39.064	19.11	87.27	HAZ (9Cr-1MoVNB)						

* 1 横継手試験片の破断位置は次の記号で示す。(BM:母材, WM:溶接金属,
FL:ボンド部, HAZ:熱影響部)

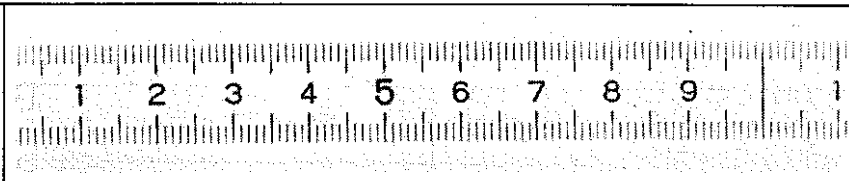
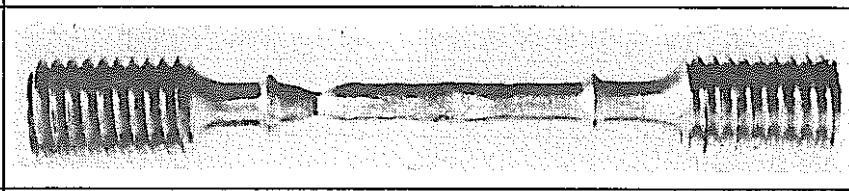
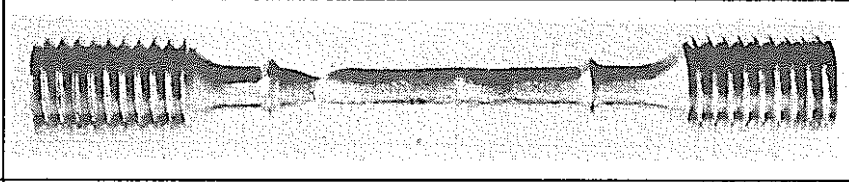
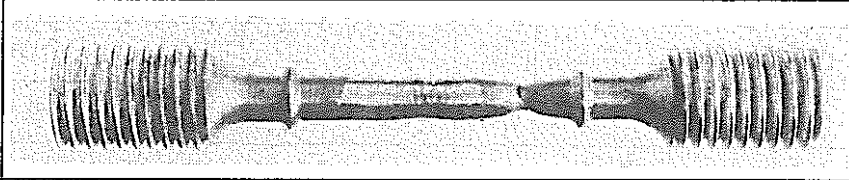
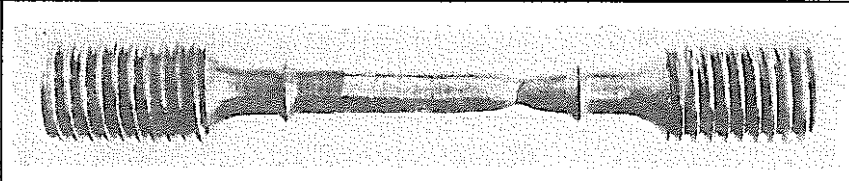
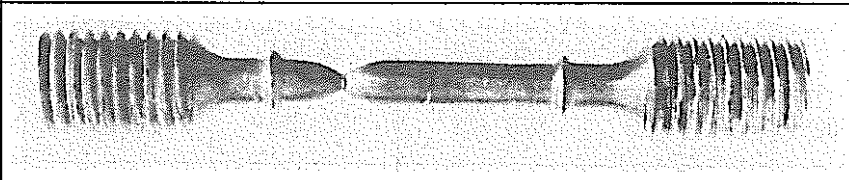
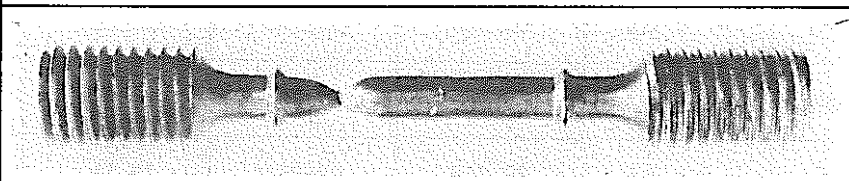
試験温度 (°C)	試験片番号	
RT	TSLT01	
	TSLT02	
500	TSLT03	
	TSLT04	
550	TSLT05	
	TSLT06	
試験材料		SUS304/9Cr-1MoVNb 異材継手

写真7. 2 破断後のSUS304/9Cr-1MVNb異材継手引張試験片外観

Photo. 7.2 Appearance after Tensile Tests for SUS304/9Cr-1MoVNb Dissimilar Welded Joint

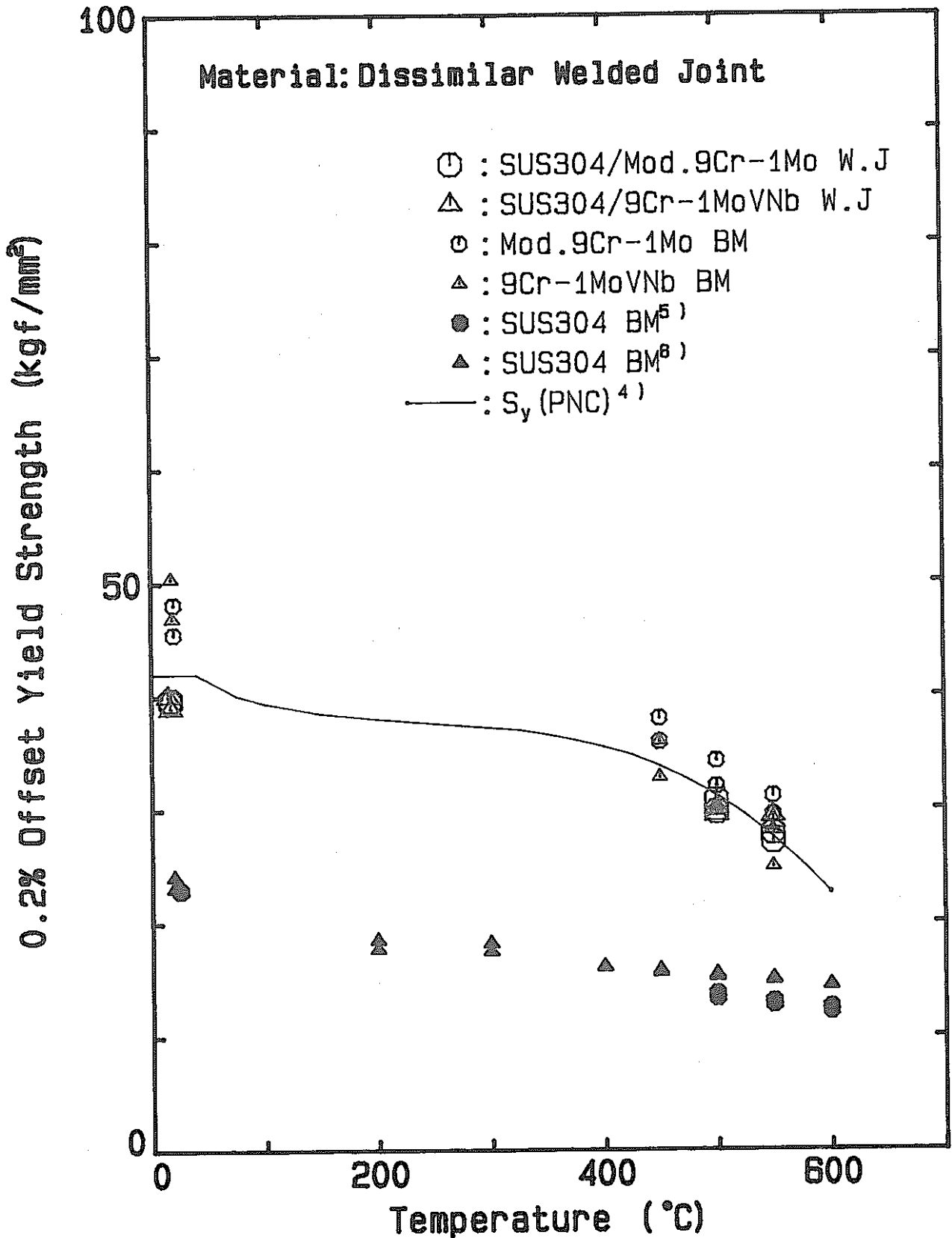


図 7.1 SUS304/Mod.9Cr-1Mo異材継手およびSUS304/9Cr-1MoVNb異材継手の0.2%耐力

Fig.7.1 0.2% Offset Yield Strength for SUS304/Mod.9Cr-1Mo Dissimilar Welded Joint and SUS304/9Cr-1MoVNb Dissimilar Welded Joint

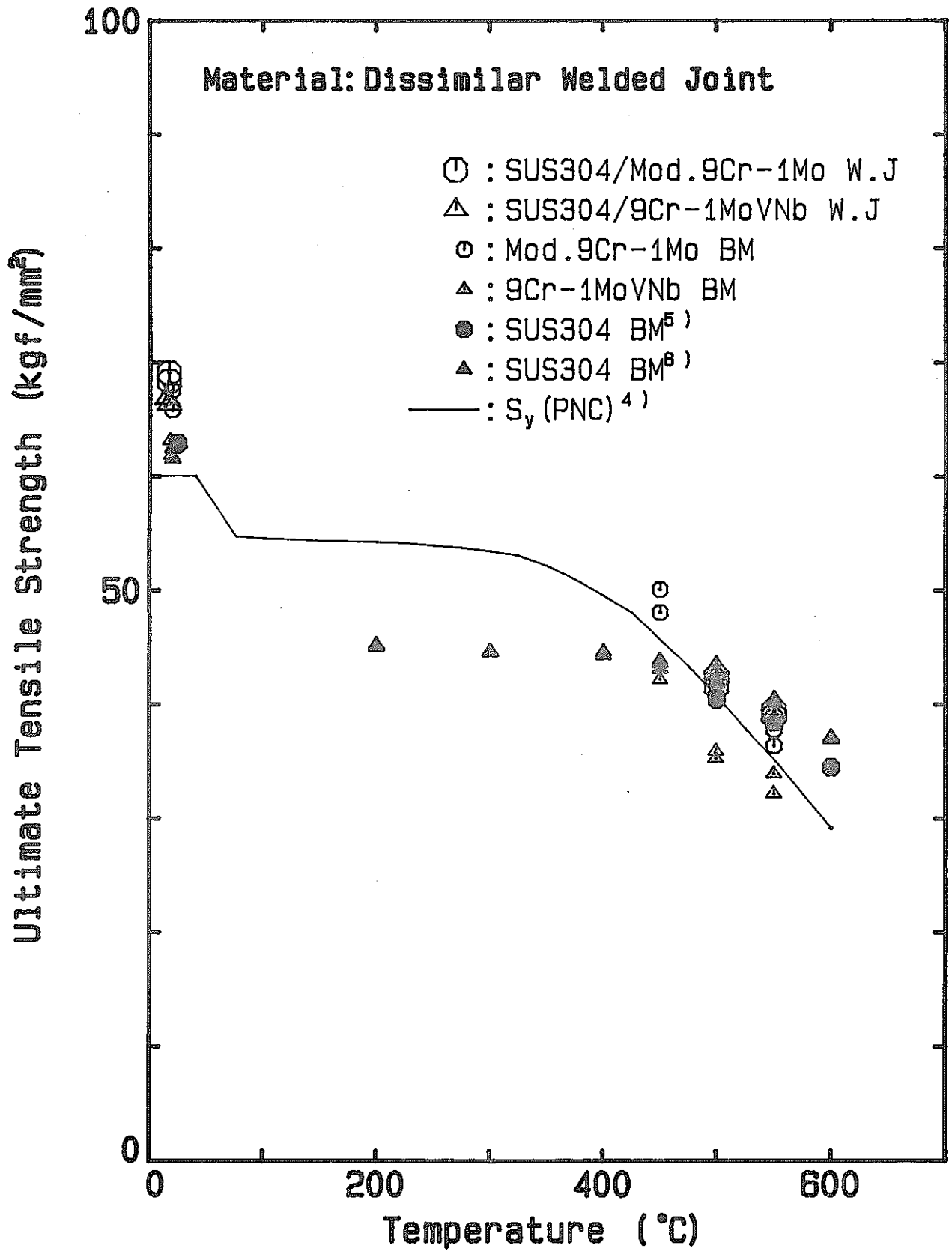


図 7.2 SUS304/Mod.9Cr-1Mo 異材継手および SUS304/9Cr-1MoVNB 異材継手の引張強さ

Fig.7.2 Ultimate Tensile Strength for SUS304/Mod.9Cr-1Mo Dissimilar Welded Joint and SUS304/9Cr-1MoVNB Dissimilar Welded Joint

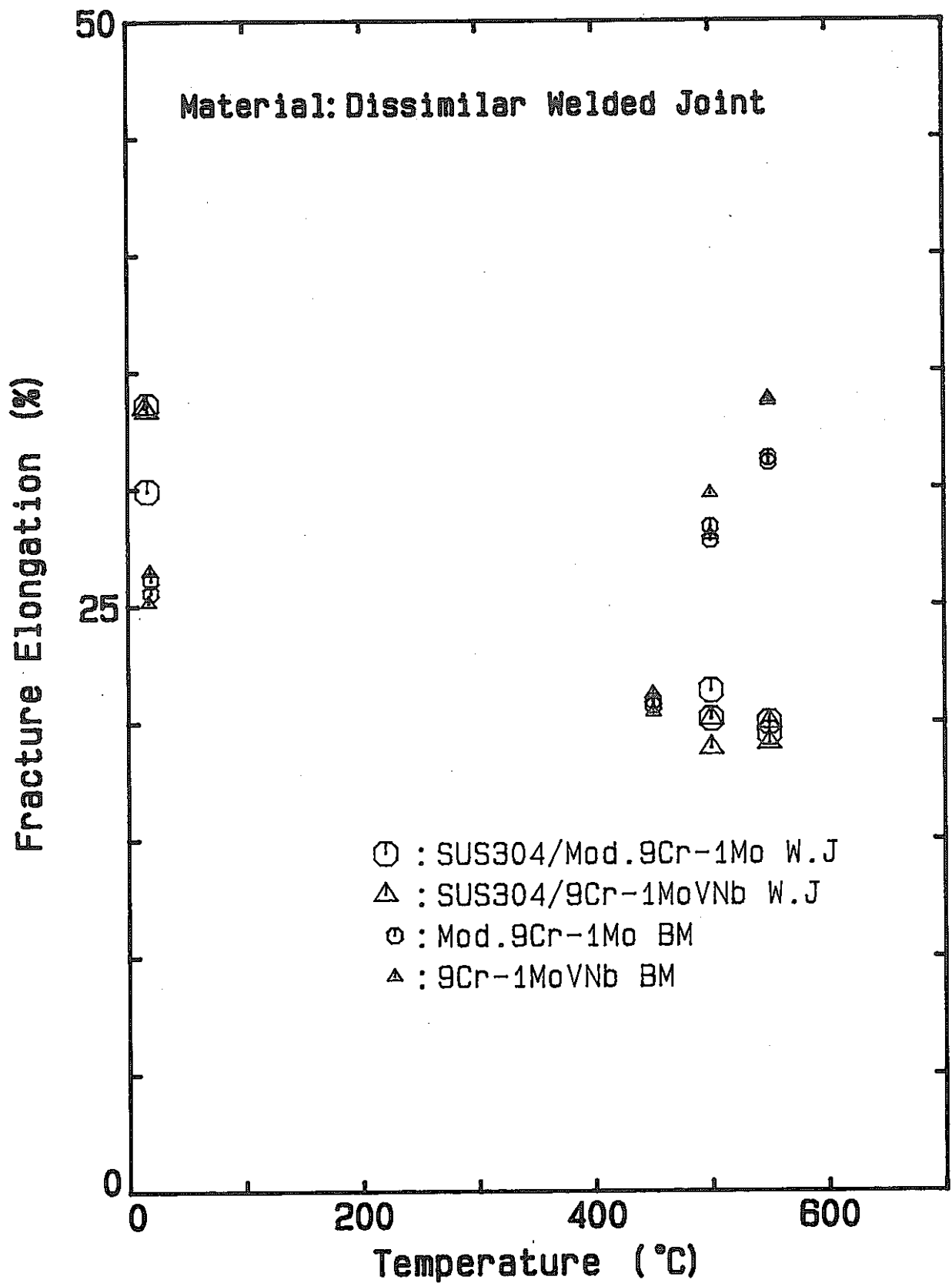


図 7.3 SUS304/Mod.9Cr-1Mo異材継手およびSUS304/9Cr-1MoVNb異材継手の引張破断伸び

Fig.7.3 Fracture Elongation for SUS304/Mod.9Cr-1Mo Dissimilar Welded Joint and SUS304/9Cr-1MoVNb Dissimilar Welded Joint

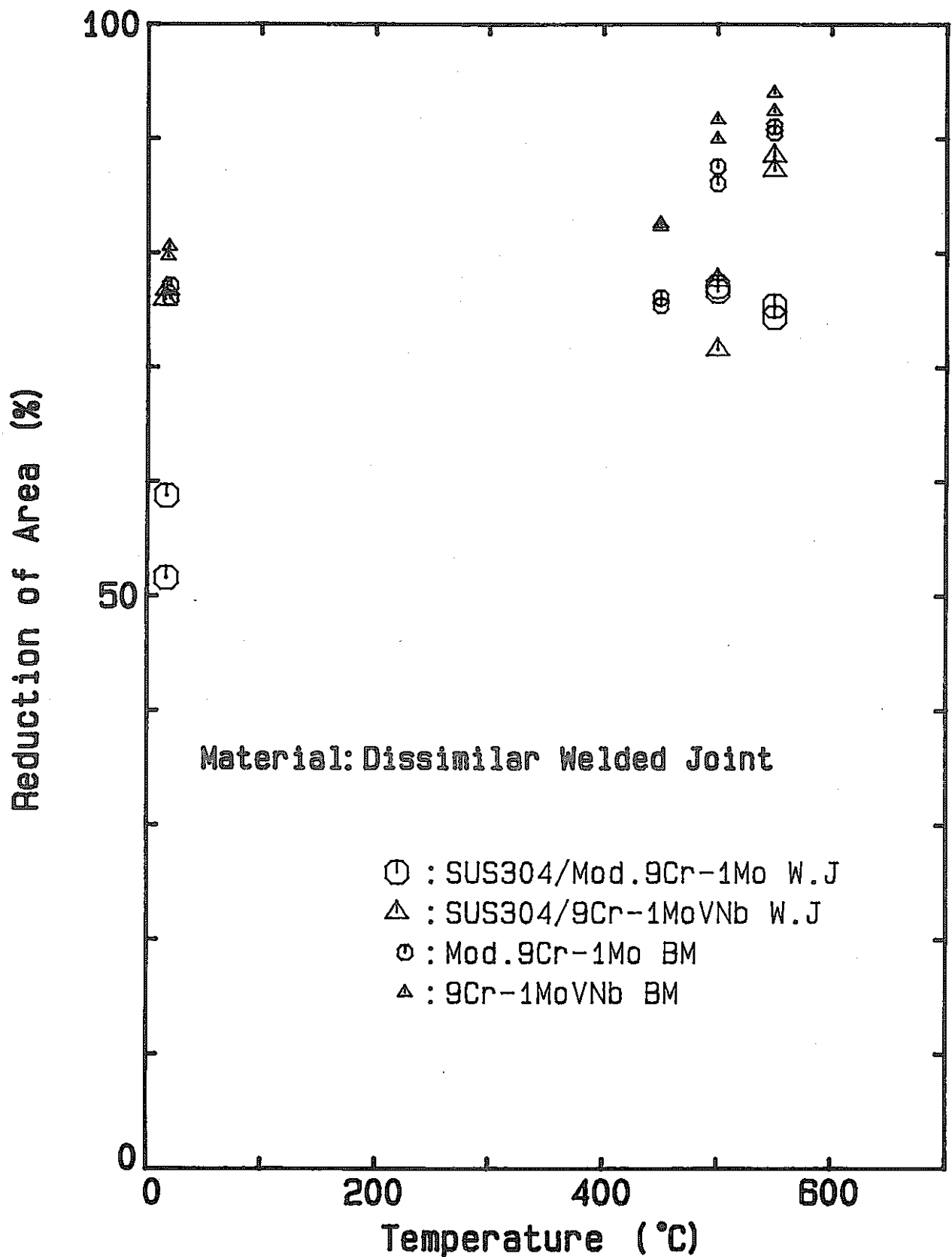


図 7.4 SUS304/Mod.9Cr-1Mo 異材継手および SUS304/9Cr-1MoVNb 異材継手の引張破断絞り

Fig.7.4 Reduction of Area for SUS304/Mod.9Cr-1Mo Dissimilar Welded Joint and SUS304/9Cr-1MoVNb Dissimilar Welded Joint

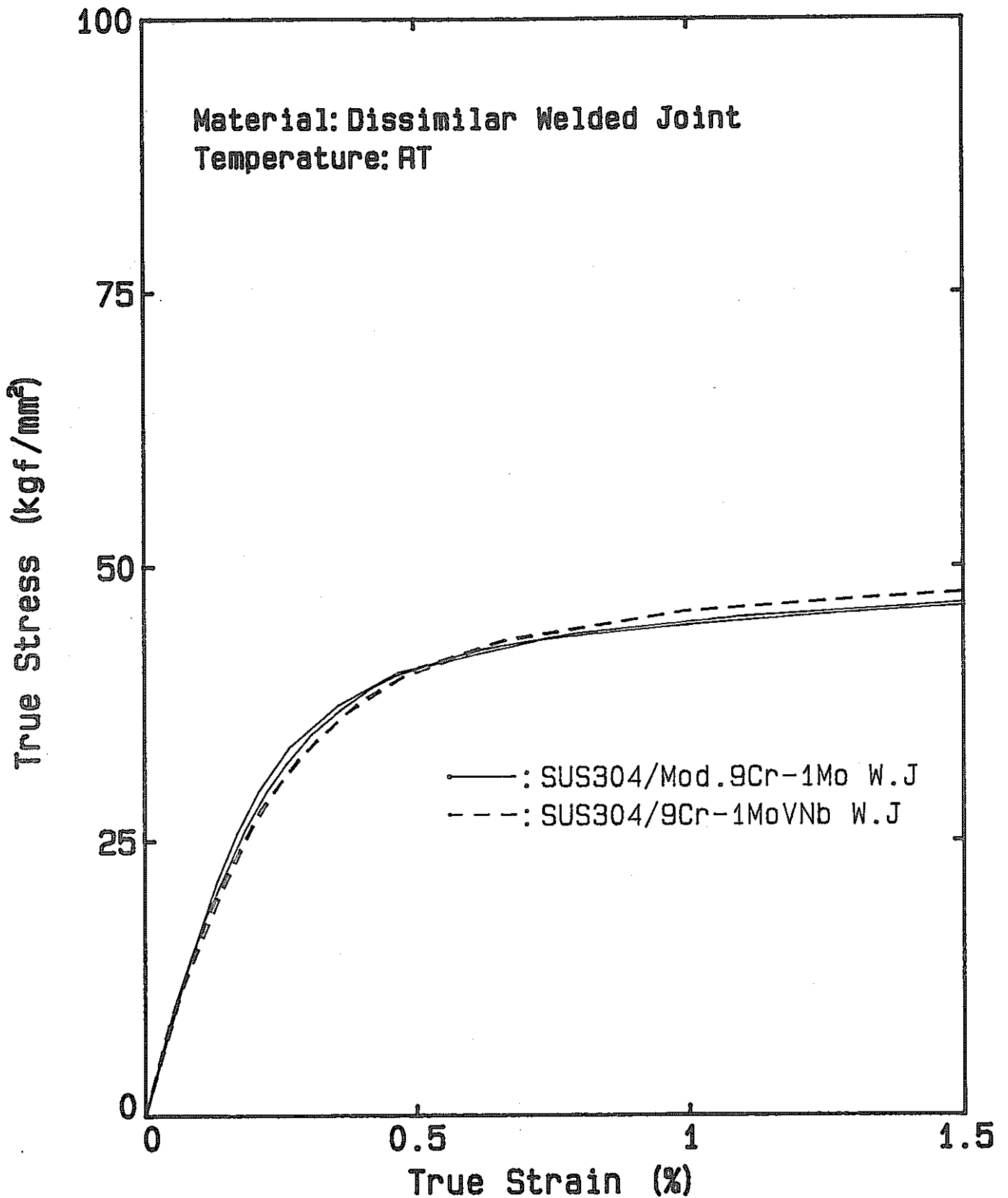


図 7.5 室温における SUS304/Mod.9Cr-1Mo 異材継手および SUS304/9Cr-1MoVNB 異材継手の真応力 - 真ひずみ特性

Fig.7.5 True Stress-True Strain Curves at R.T for SUS304 /Mod.9Cr-1Mo Dissimilar Welded Joint and SUS304 /9Cr-1MoVNB Dissimilar Welded Joint

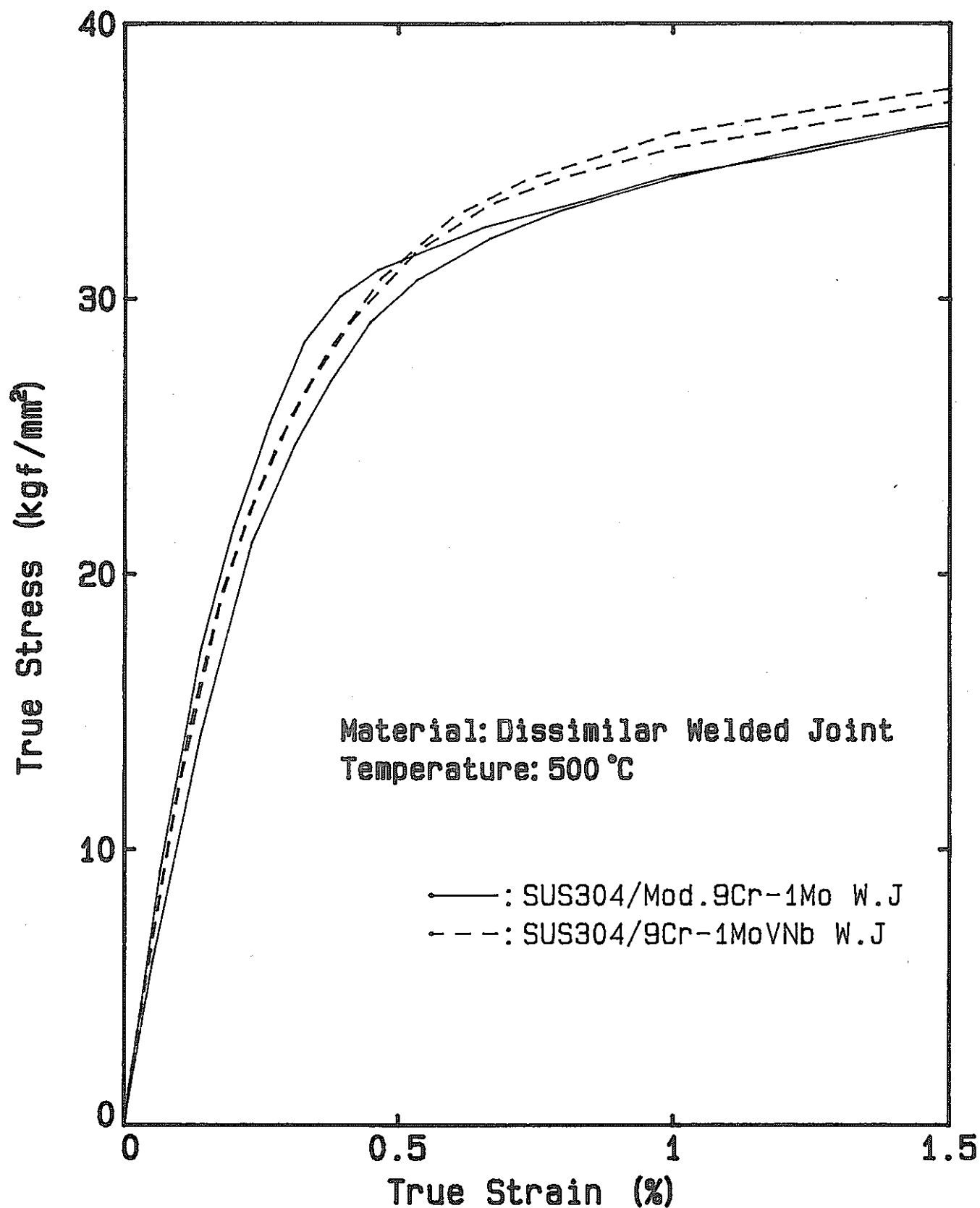


図 7.6 500°C における SUS304/Mod.9Cr-1Mo 異材継手および SUS304/9Cr-1MoVNb 異材継手の真応力 - 真ひずみ特性

Fig.7.6 True Stress-True Strain Curves at 500°C for SUS304 /Mod.9Cr-1Mo Dissimilar Welded Joint and SUS304 /9Cr-1MoVNb Dissimilar Welded Joint

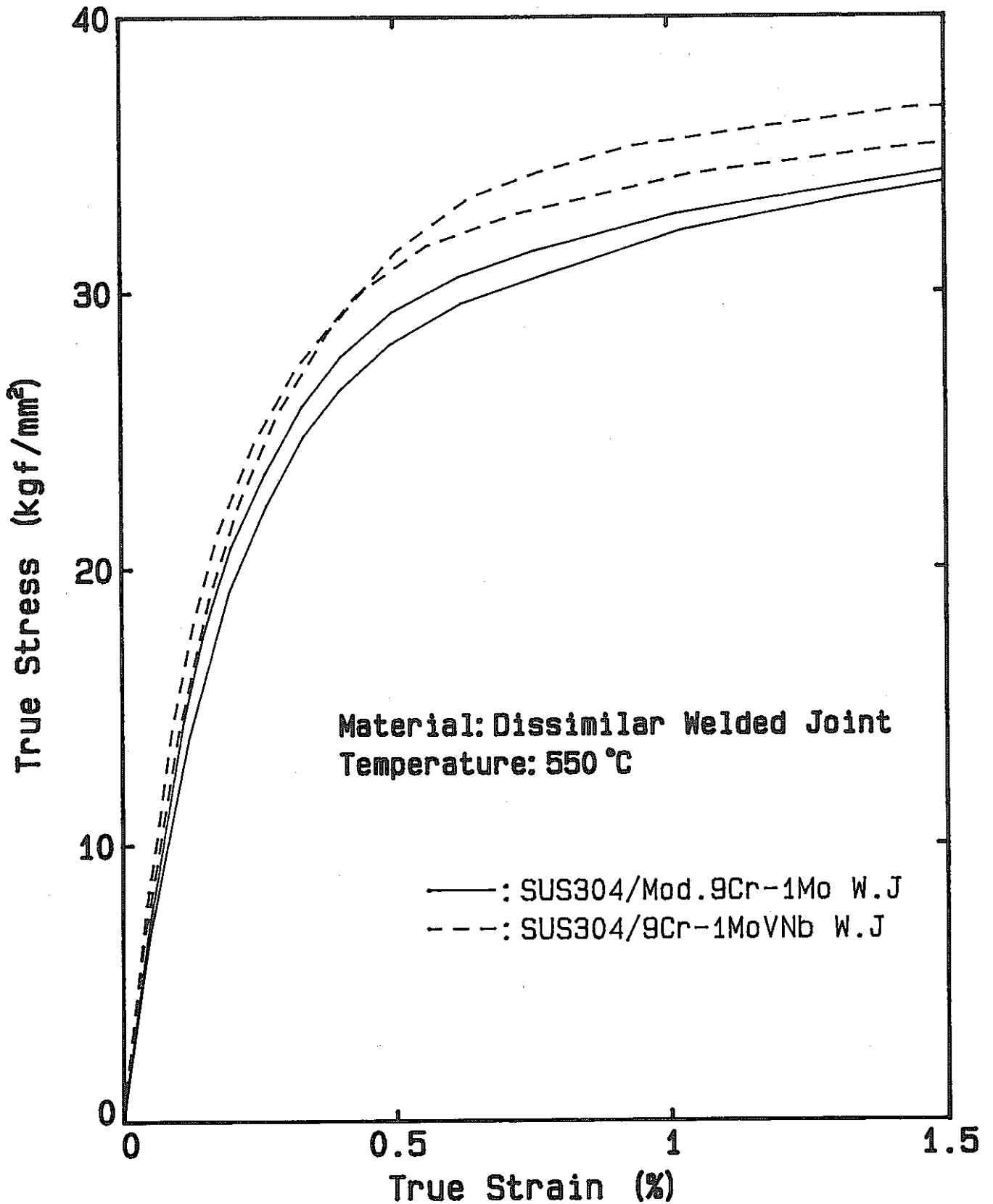


図 7.7 550°Cにおける SUS304/Mod.9Cr-1Mo 異材継手および SUS304/9Cr-1MoVNb 異材継手の真応力-真ひずみ特性

Fig.7.7 True Stress-True Strain Curves at 550°C for SUS304/Mod.9Cr-1Mo Dissimilar Welded Joint and SUS304/9Cr-1MoVNb Dissimilar Welded Joint

7. 2 クリープ試験結果

SUS304/Mod. 9Cr-1Mo異材継手およびSUS304/9Cr-1MoVNb異材継手のクリープ試験については、現在試験中であるため、表7. 3および表7. 4に現在までの経過時間のみ示す。

表 7.3 クリープ試験結果
Table 7.3 Results of Creep Tests

材 料 SUS304 Mod. 9Cr-1Mo																			
材 料 製 造 者				化 学 成 分 (wt%)										溶 接 法					
新 日 鉄				SUS304		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Co	T I G					
						0.05	0.59	0.87	0.027	0.003	8.98	14.47	0.12						
素 材 形 状 寸 法				Mod.9Cr-1Mo		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Nb	V	T.Al	N	試 験 雰 囲 気	試 験 場 所
40' × 1000" × 1000' 25' × 1000" × 1000'				熱 処 理		740°C × 8.4hr										大 気		川 崎 重 工 業 (株)	
温 度 (°C)	分 類	試験片番号	応 力 (kgf/mm ²)	破断時間 (h)	破断伸び (%)	絞 り (%)	破断位置 (JIS Z-2241)	負荷完了 時ひずみ (%)	定常クリープ 速 度 (%/h)	三次クリープ 開始時ひずみ (%)	三次クリープ 開 始 時 間 (hr)	一次クリープ ひずみ (%)							
500	異材継手	CSMT01	32	> 400			0.21												
"	"	CSMT02	29	> 700															
"	"	CSMT03	25.6	> 2000															
"	"	CSMT04	23.5	> 2000															
550	異材継手	CSMT05	21	> 2000															
"	"	CSMT06	20	> 2000															
"	"	CSMT07	18.7	> 2000															
"	"	CSMT08	17.8	> 2000															

*1 横継手試験片の破断位置は次の記号で示す。(BM:母材, WM:溶接金属, FL:ボンド部, HAZ:熱影響部)

表7.4 クリープ試験結果

Table 7.4 Results of Creep Tests

材料 SUS304 9Cr-1MoVnb																			
材料製造者				化学成分 (wt%)										溶接法					
新日鉄, 日本鋼管				SUS304		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Co	TIG					
						0.05	0.59	0.87	0.027	0.003	8.98	14.47	0.12						
素材形状寸法				9Cr-1MoVnb		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Nb	V	Sol.Al	T.N	試験雰囲気	試験場所
						0.08	0.13	0.72	0.009	0.002	0.18	8.01	0.92	0.21	0.05	0.006	0.012		
40' × 1000" × 1000' 25' × 1000" × 1000'				熱処理		710°C × 8.4hr										大気		川崎重工業(株)	
温度 (°C)	分類	試験片番号	応力 (kgf/mm ²)	破断時間 (h)	破断伸び (%)	絞り (%)	破断位置 (JIS Z-2241)	負荷完了 時ひずみ (%)	定常クリープ 速度 (%/h)	三次クリープ 開始時ひずみ (%)	三次クリープ 開始時間 (hr)	一次クリープ ひずみ (%)							
500	異材継手	CSLT01	31	> 100				0.53											
"	"	CSLT02	30	> 100				0.31											
"	"	CSLT03	27.5	> 100															
"	"	CSLT04	26	> 100															
550	異材継手	CSLT05	24					0.07											
"	"	CSLT06	22	> 100				0.06											
"	"	CSLT07	20.4	> 100				0.05											
"	"	CSLT08	19.3	> 100															

*1: 横継手試験片の破断位置は次の記号で示す。(BM: 母材, WM: 溶接金属, FL: ボンド部, HAZ: 熱影響部)

8. 溶着金属の長時間クリープ継続試験結果について

昭和57年度より継続して行っているSUS304鋼溶着金属(SMAW)、SUS321鋼溶着金属(TIG)および2¼Cr-1Mo鋼溶着金属(SMAW)の長時間クリープ試験の結果をまとめて示す。昭和62年度以来破断した試験片はなく、また目標破断時間を20000hと設定した条件では、現在30000h以上を経過し、いまだ未破断であるが、各試験片のクリープ曲線より定常クリープ状態に達していると判断し試験を中断した。本年度までに得られた結果を表8.1から表8.3にまとめて示す。また、各溶着金属試験片のクリープ曲線、クリープ破断時間、定常クリープ速度、破断伸びの結果を図8.1から図8.30にまとめて示す。

本試験で得られた結果を次に示す。

- (1) SUS304鋼溶着金属のクリープ破断強度、定常クリープ速度はPFWの2種溶材データの中間の値を示す。また、破断伸びは若干低目である。
- (2) SUS321鋼溶着金属のクリープ破断強度、定常クリープ速度はS52年度KOM委託試験の三菱データ(自動ティグ溶接改良形321系ワイヤ使用)をやや下回る傾向がある。一方、破断伸びはほぼ同程度である。
- (3) 2¼Cr-1Mo鋼溶着金属のクリープ破断強度、定常クリープ速度はPFWデータと同等の値を示すが、破断伸びは470℃でやや大きく、520℃で低目である。

表8.1 クリープ試験結果
Table 8.1 Results of Creep Tests

材料製造者		化 学 成 分 (wt%)								溶 接 法	材 料	
(株) 神 鋼		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Nb	N	SMAW	SUS304D.M
素材形状寸法		0.066	0.26	1.48	0.028	0.002	9.83	19.56	0.04	0.025	試験雰囲気	試験場所
		熱 処 理								大 気	川崎重工業(株)	
温 度 (°C)	試験片番号	応 力 (kgf/mm ²)	破断時間 (h)	破断伸び (%)	絞 り (%)	破断位置 (JIS Z-2241)	負荷完了 時ひずみ (%)	定常クリープ 速 度 (%/h)	三次クリープ 開始時ひずみ (%)	三次クリープ 開 始 時 間 (hr)	一次クリープ ひ ず み (%)	
550	K304-1* ¹	29	2.2	29.9	55.5	A	2.74	—	—	—	—	
550	K304-2* ¹	24	165.5	29.7	68.2	A	0.33	0.046	3.9	70.	0.17	
550	K304-3* ¹	23	1816.	20.	44.	A	0.225	1.42×10 ⁻³	2.5	900.	0.7	
550	K304-8* ²	21	8319.	5.17	6.57	B	0.178	7.75×10 ⁻⁵	1.23	5200.	0.4	
550	K304-9* ³	20	12940.	5.85	8.2	B	0.157	6.96×10 ⁻⁵	1.137	10006.	0.24	
550	D304-1	19	>32000				0.15	3.75×10 ⁻⁵			0.05	
550	D304-2	18	>30000				0.13	3 ×10 ⁻⁵			0.04	
600	K304-4* ¹	27	0.8	35.3	67.9	A	2.67	—	—	—	—	
600	K304-5* ¹	21	226.4	26.0	38.9	A	0.26	1.26×10 ⁻³	2.21	128.	0.14	
600	K304-6* ¹	20	458.	12.4	41.9	B	0.21	2.5 ×10 ⁻³	1.24	240.	0.24	
600	K304-7* ¹	19	749.4	20.2	33.9	A	0.2	2.0 ×10 ⁻³	1.4	400.	0.1	
600	D304-3* ⁴	16	11358.	4.12	1.67	B	0.1	6.4 ×10 ⁻⁶	0.49	11144.	0.127	
600	D304-4* ⁴	15	12532.	2.56	1.36	B	0.1	6.4 ×10 ⁻⁶	0.45	11749.	0.05	

* 1 : 昭和57年度完了, * 2 : 昭和58年度完了, * 3 : 昭和59年度完了, * 4 : 昭和60年度完了

表8.2 クリープ試験結果
Table 8.2 Results of Creep Tests

材料製造者			化学成分 (wt%)									溶接法	材料		
(株) 神 鋼			C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Ti	B	Nb	N	SMAW	SUS321D.M
素材形状寸法			0.054	0.21	1.53	0.021	0.002	10.2	19.28	0.44	0.0042	0.058	0.02	試験雰囲気	試験場所
			熱 処 理									大 気	川崎重工業(株)		
温 度 (°C)	試験片番号	応 力 (kgf/mm ²)	破断時間 (h)	破断伸び (%)	絞 り (%)	破断位置 (JIS Z-2241)	負荷完了 時ひずみ (%)	定常クリープ 速 度 (%/h)	三次クリープ 開始時ひずみ (%)	三次クリープ 開 始 時 間 (hr)	一次クリープ ひ ず み (%)				
550	K321-1* ¹	32	15	30.8	5.6	B	4.6	0.87	11.56	7.	0.68				
550	K321-2* ²	25	6408	31.1	36.85	A	0.193	1.62×10 ⁻³	4.89	2600.	0.3				
550	K321-3* ³	24	14968	25.4	52.7	B	0.1	5.25×10 ⁻⁴	6.0	10854.	0.134				
550	K321-7* ³	23	12842	38.0	49.0	A	0.1	5.95×10 ⁻⁴	1.5	1857.	0.2				
550	D321-1	22	>31000				0.1	9.15×10 ⁻⁶			0.4				
600	K321-4* ¹	28	6.4	28.0	58.4	B	2.5	1.92	10.	3.2	1.16				
600	K321-5* ²	22	5174	27.62	60.08	A	0.1	1.02×10 ⁻³	4.1	2950.	0.8				
600	K321-6* ²	21	6978	35.3	50.12	A	0.1	4.08×10 ⁻⁴	2.6	3800.	0.75				
600	K321-8* ³	20	12220	22.9	46.4	A	0.1	2.38×10 ⁻⁴	3.1	7433.	1.13				
600	D321-2	19	>31000				0.1	9 ×10 ⁻⁶			1.1				

* 1 : 昭和57年度完了, * 2 : 昭和58年度完了, * 3 : 昭和59年度完了

表8.3 クリープ試験結果
Table 8.3 Results of Creep Tests

材料製造者			化 学 成 分 (wt%)					溶 接 法		材 料		
(株) 神 鋼			C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	S M A W		2¼Cr-1MoD. M
素材形状寸法			0.08	0.42	0.6	0.007	0.004	2.12	1.00	試験雰囲気		試験場所
—			熱 処 理		715 °C±5 °C×8.4h				大 気		川崎重工業(株)	
温 度 (°C)	試験片番号	応 力 (kgf/mm ²)	破断時間 (h)	破断伸び (%)	絞 り (%)	破断位置 (JIS Z-2241)	負荷完了 時ひずみ (%)	定常クリープ 速 度 (%/h)	三次クリープ 開始時ひずみ (%)	三次クリープ 開 始 時 間 (hr)	一次クリープ ひ ず み (%)	
470	KCM-1* ¹	34	438	21.5	78.8	A	0.22	7.0 × 10 ⁻³	1.48	133	0.13	
470	KCM-2* ²	24	9704	37.34	79.8	A	0.12	2.47 × 10 ⁻⁴	1.02	2350	0.12	
470	KCM-3* ³	23	10544	33.42	77.9	A	0.11	2.45 × 10 ⁻⁴	0.86	2452	0.06	
470	KCM-7	22	>32000				0.1	1.5 × 10 ⁻⁴			0.06	
520	KCM-4* ¹	25	4054	12.37	18.45	B	0.04	2.0 × 10 ⁻⁴	0.9	1750	0.25	
520	KCM-5* ⁴	13	22427	23.2	63.4	B	0.02	1.73 × 10 ⁻⁴	2.2	11363	0.	
520	KCM-6	11	>39000				0.02	1.6 × 10 ⁻⁴			0.02	
520	KCM-8	12	>32000					4.6 × 10 ⁻⁴			0.08	

* 1 : 昭和57年度完了, * 2 : 昭和58年度完了, * 3 : 昭和59年度完了, * 4 : 昭和60年度完了

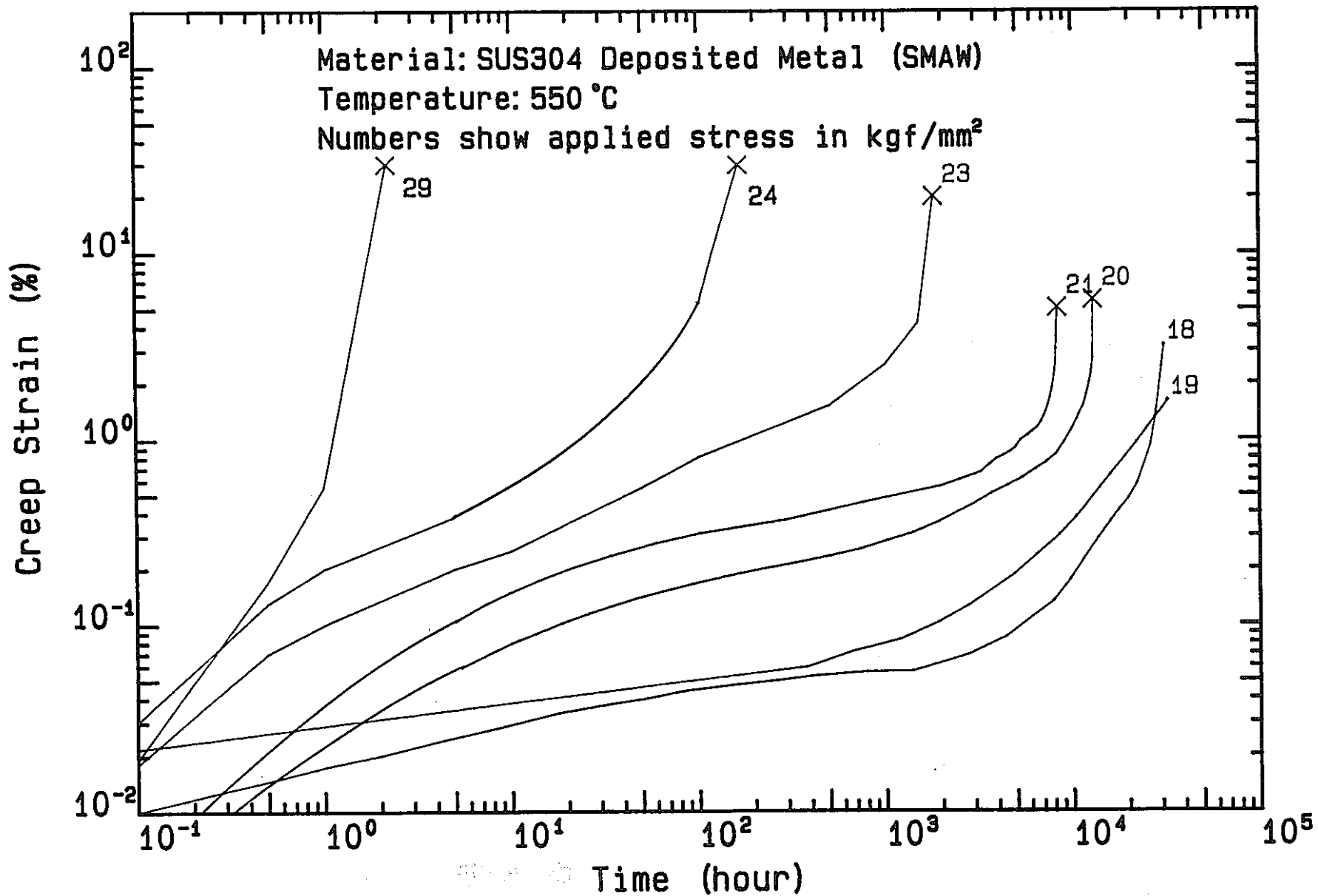


図 8. 1 550 °C における SUS304 溶着金属のクリープ曲線

Fig. 8. 1 Creep Curves at 550 °C for SUS304 Deposited Metal

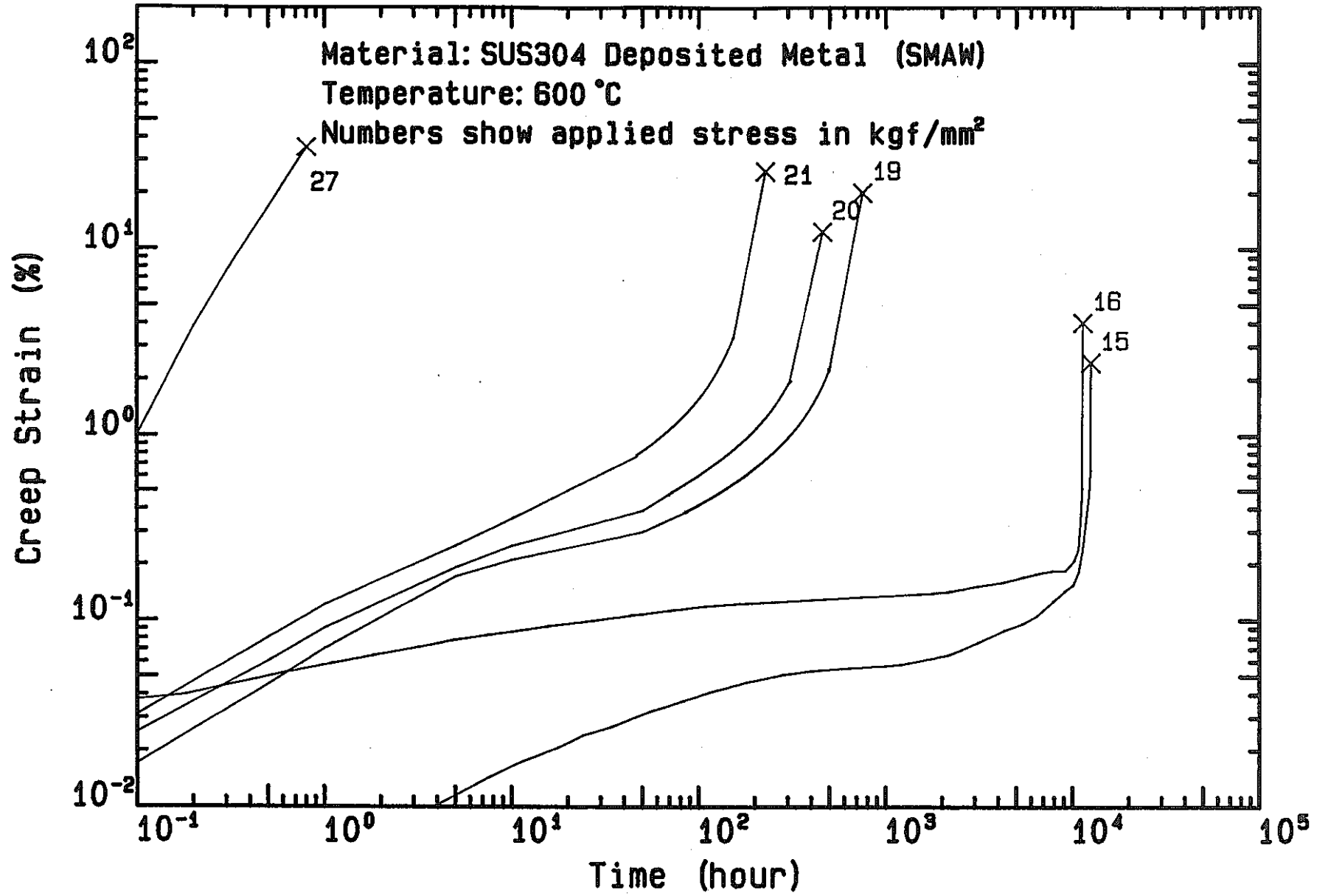


図 8. 2 600°C における SUS304 溶着金属のクリープ曲線

Fig. 8. 2 Creep Curves at 600°C for SUS304 Deposited Metal

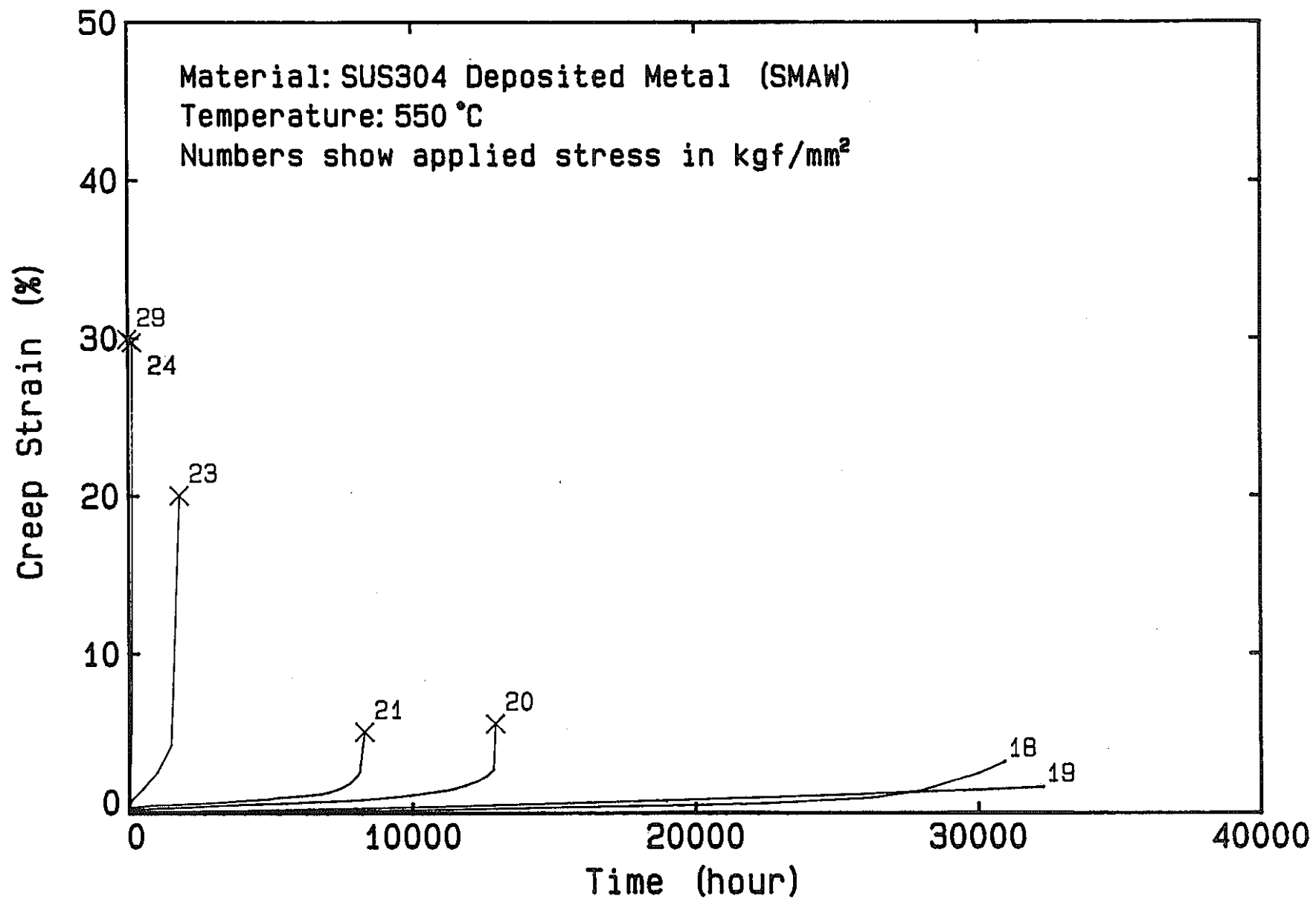


図 8. 3 550°C における SUS304 溶着金属のクリープ曲線

Fig. 8. 3 Creep Curves at 550°C for SUS304 Deposited Metal

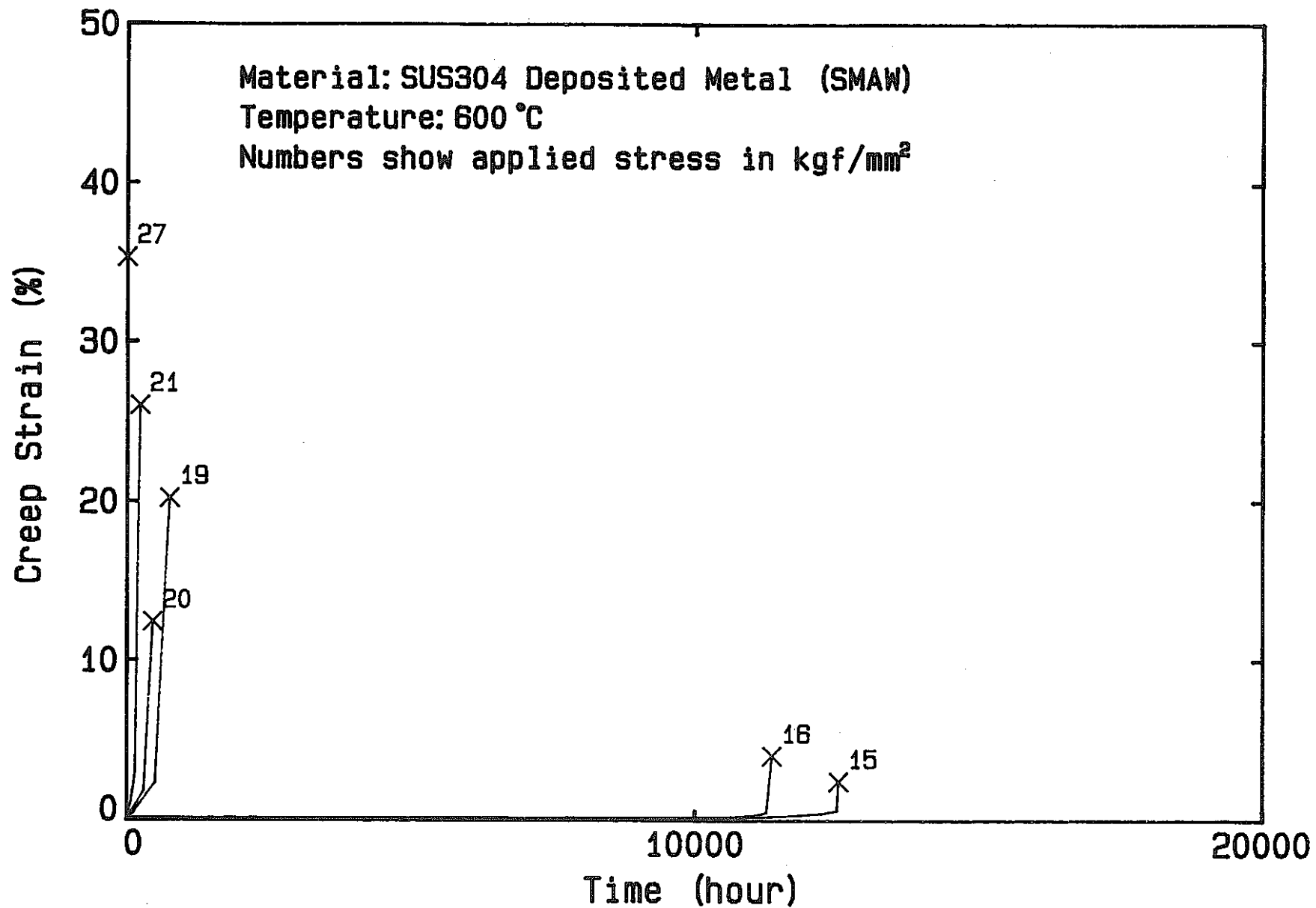


図 8. 4 600°C における SUS304 溶着金属のクリープ曲線

Fig. 8. 4 Creep Curves at 600°C for SUS304 Deposited Metal

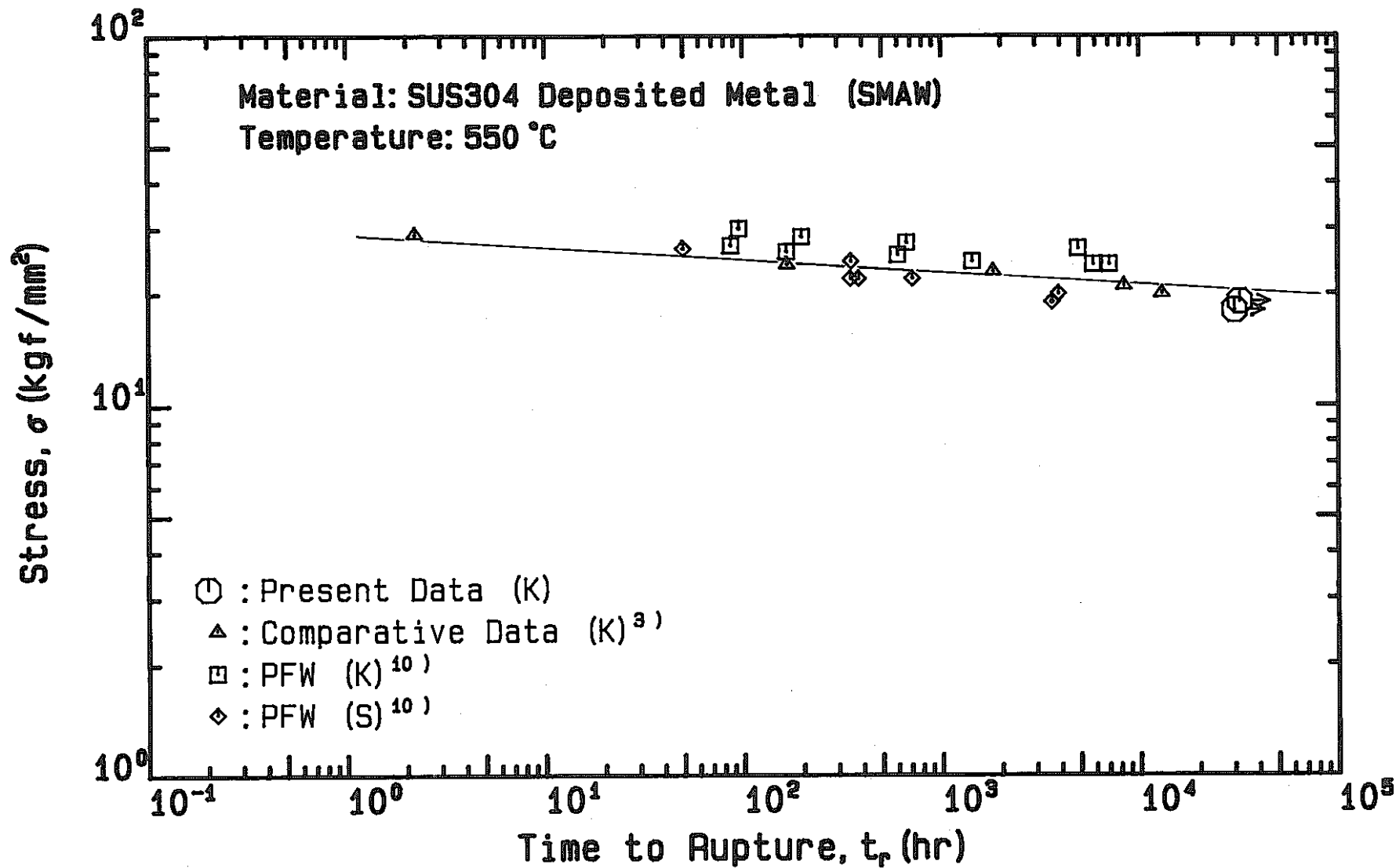


図 8. 5 SUS304 溶着金属のクリープ破断時間 (550 °C)

Fig. 8. 5 Creep Rupture Time of SUS304 Deposited Metal (550 °C)

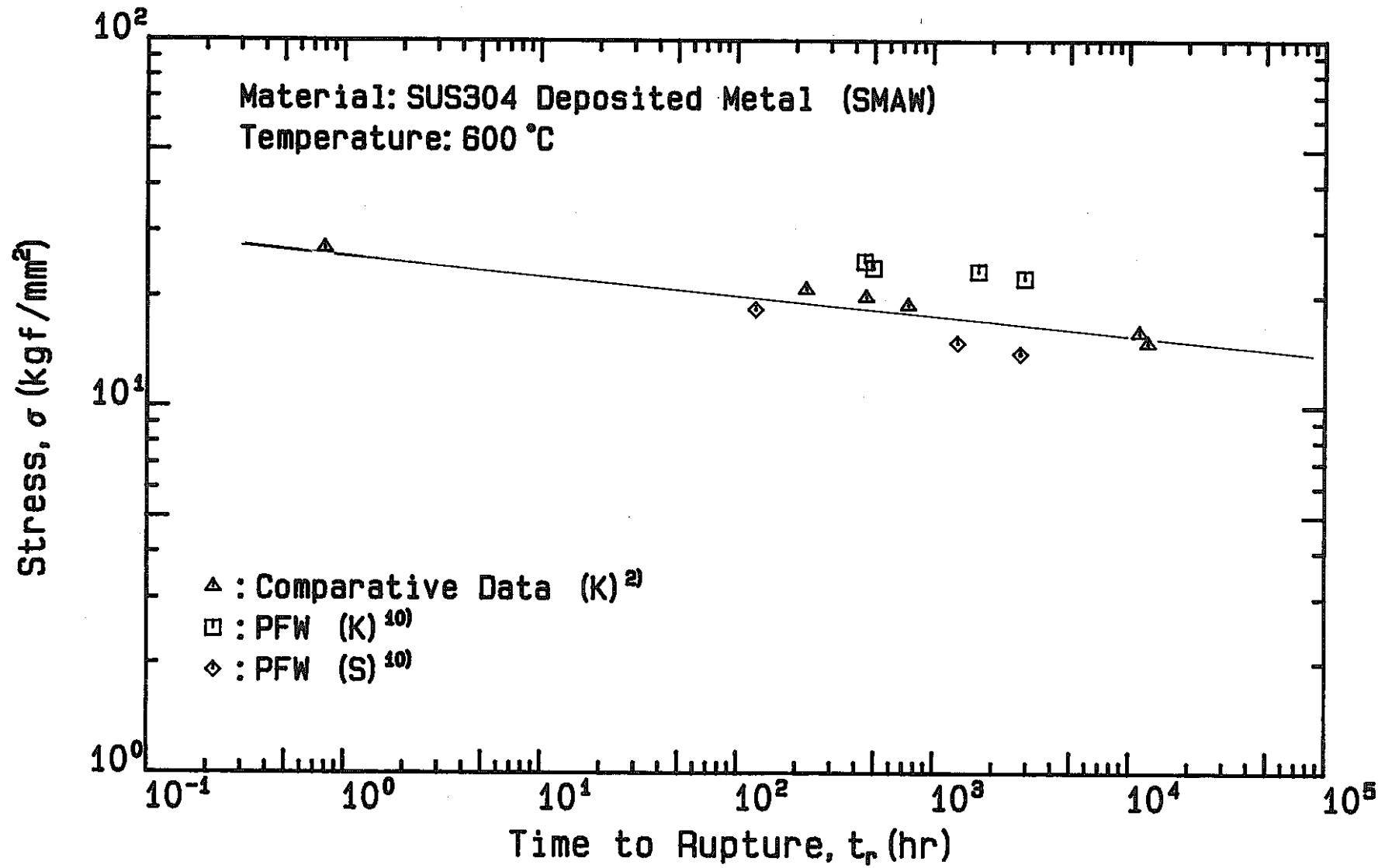


図 8. 6 SUS304 溶着金属のクリープ破断時間 (600°C)

Fig. 8. 6 Creep Rupture Time of SUS304 Deposited Metal (600°C)

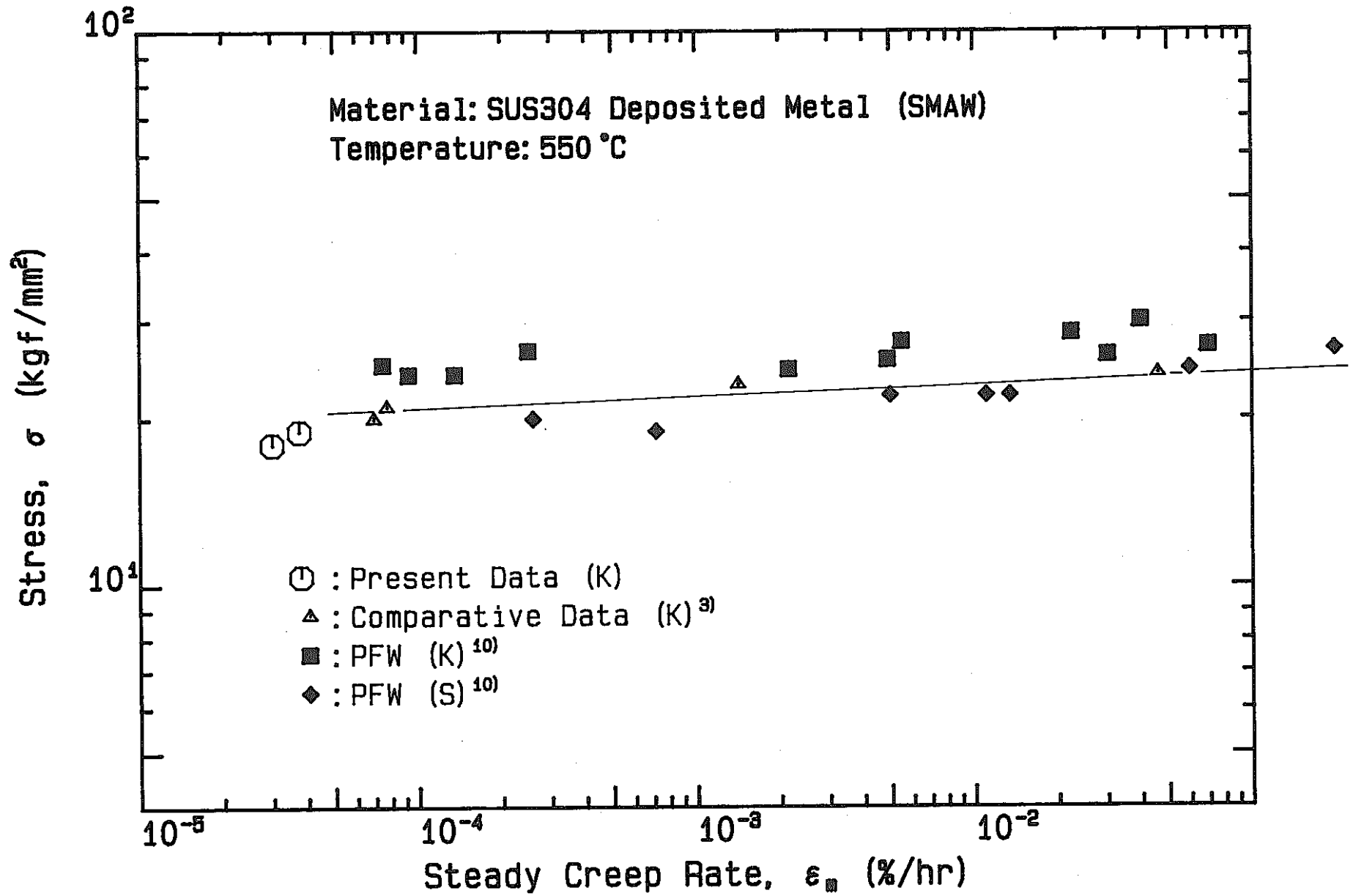


図 8. 7 SUS304 溶着金属の応力と定常クリープ速度の関係 (550 °C)

Fig. 8. 7 Relation between Stress and Steady Creep Rate for SUS304 Deposited Metal (550 °C)

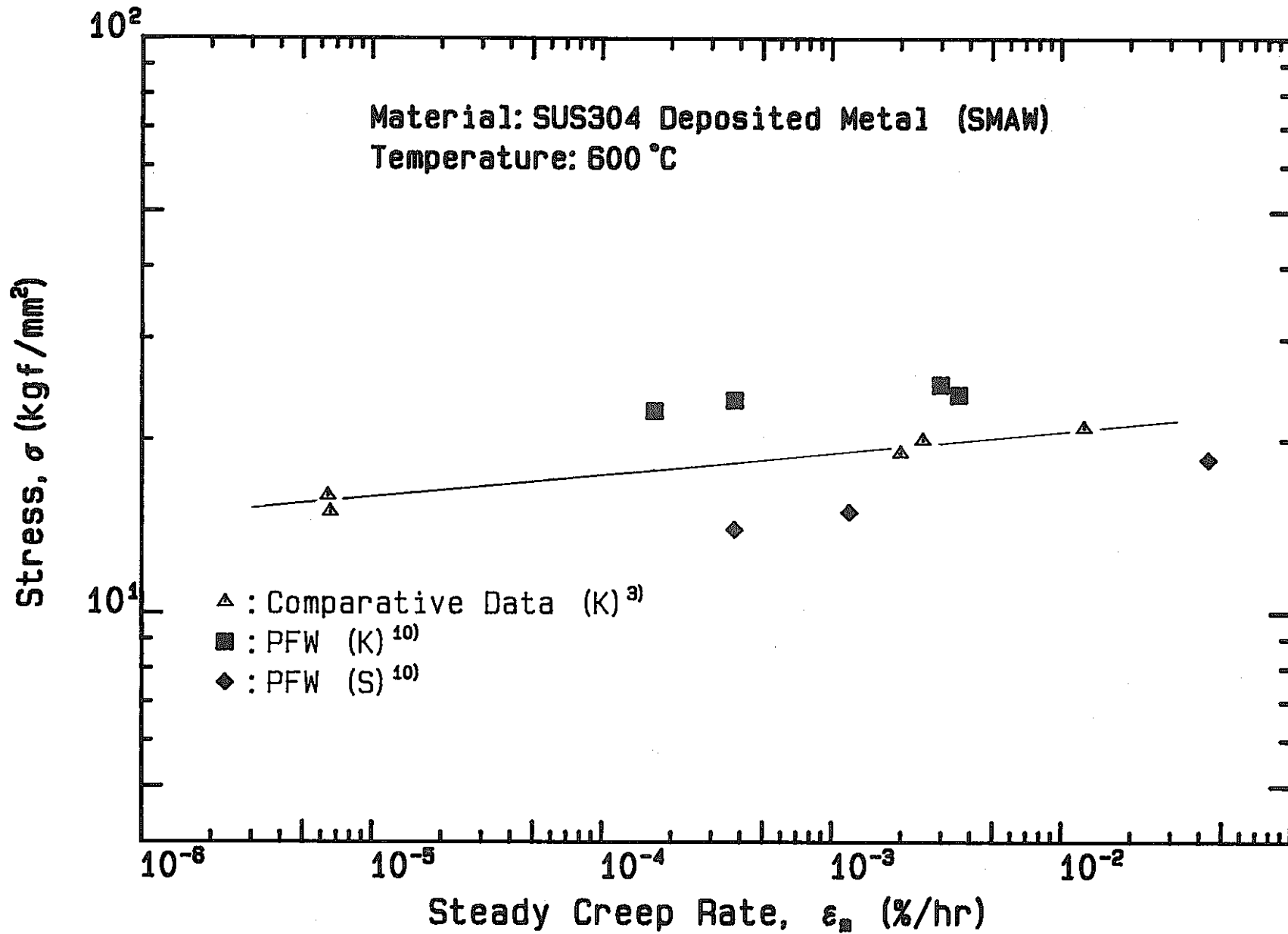


図 8. 8 SUS304 溶着金属の応力と定常クリープ速度の関係 (600°C)

Fig. 8. 8 Relation between Stress and Steady Creep Rate for SUS304 Deposited Metal (600°C)

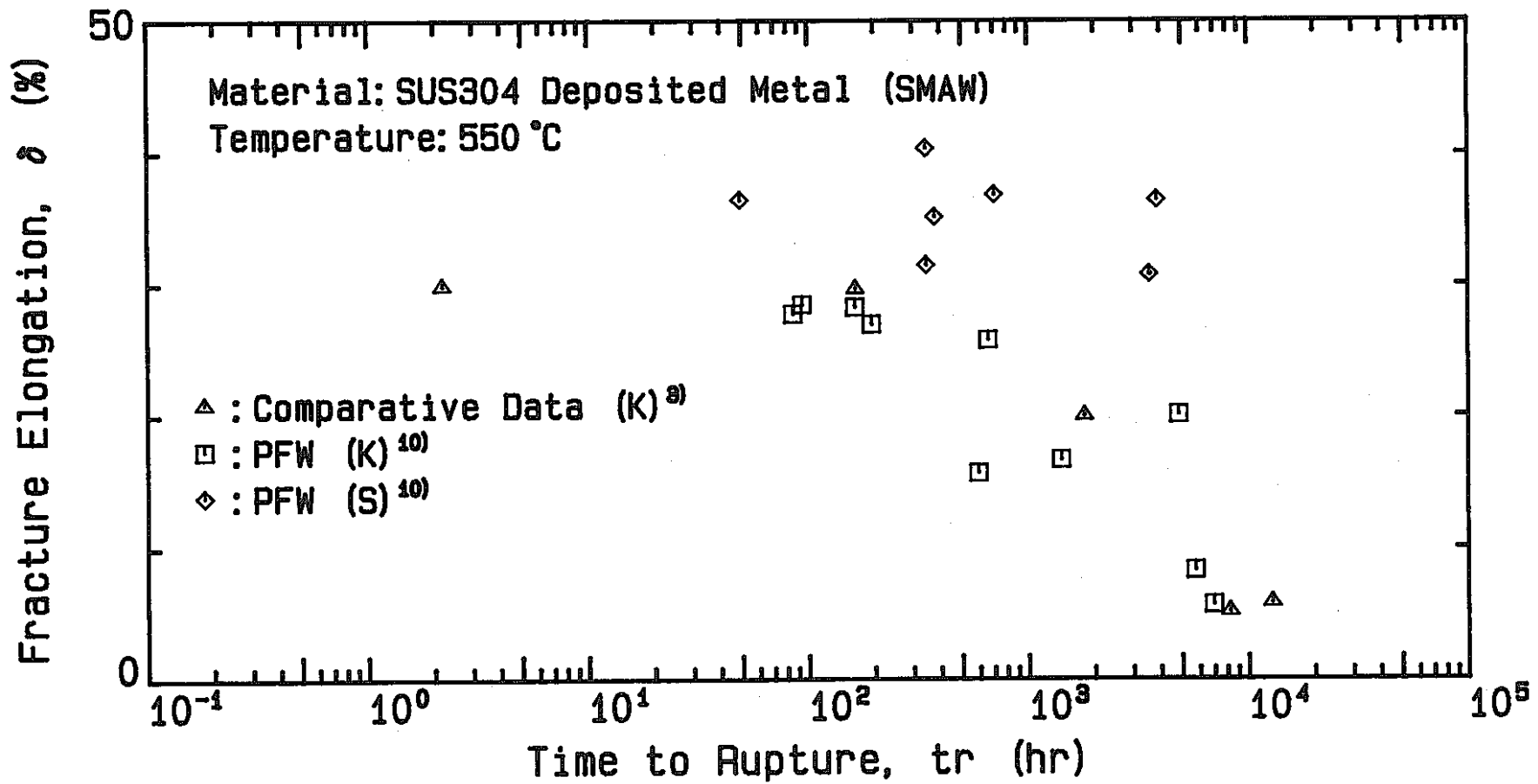


図 8. 9 SUS304 溶着金属の破断伸びと破断時間の関係 (550°C)

Fig. 8. 9 Relation between Fracture Elongation and Time to Rupture for SUS304 Deposited Metal (550°C)

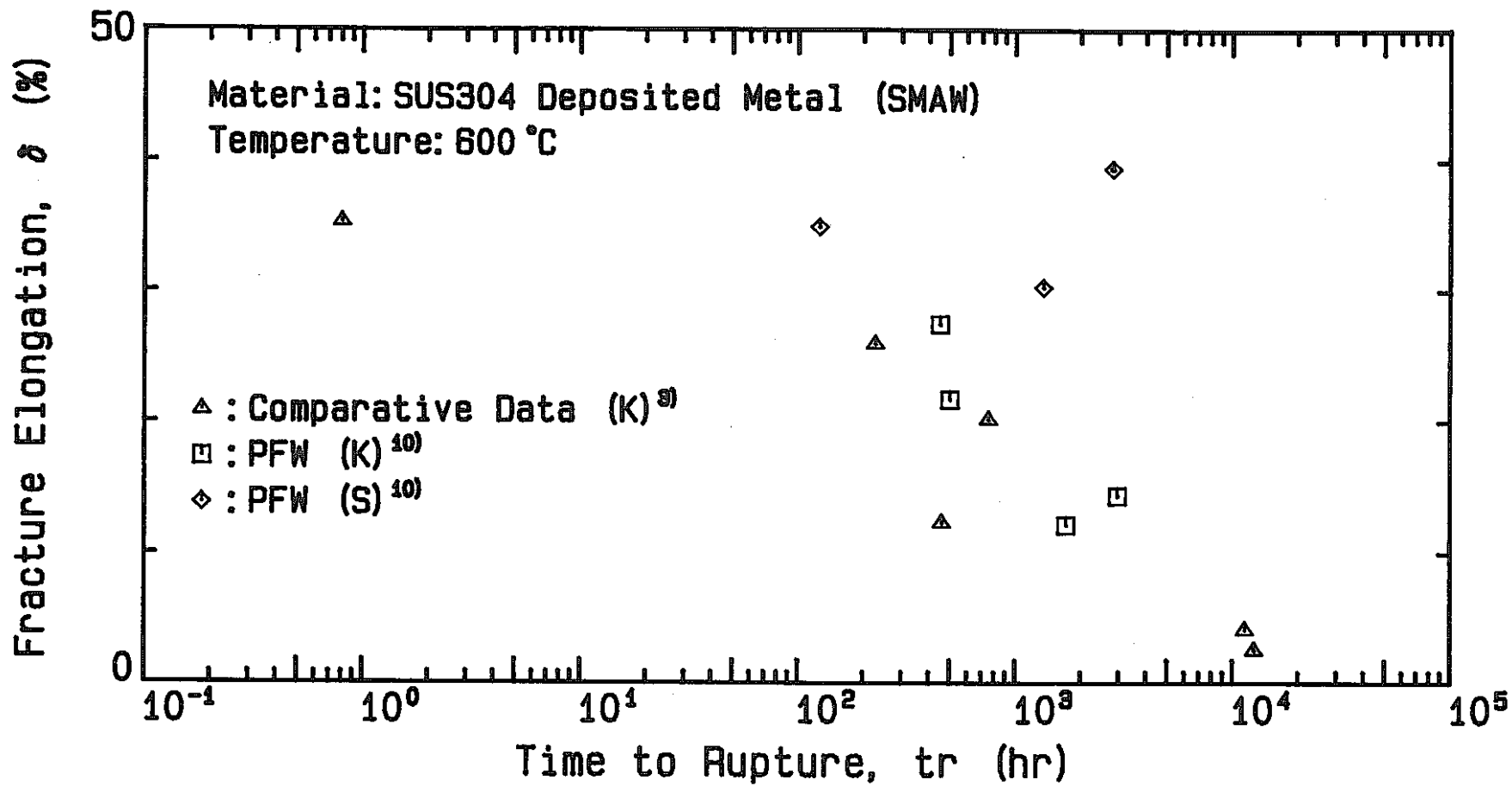


図 8. 10 SUS304 溶着金属の破断伸びと破断時間の関係 (600°C)

Fig. 8. 10 Relation between Fracture Elongation and Time to Rupture for SUS304 Deposited Metal (600°C)

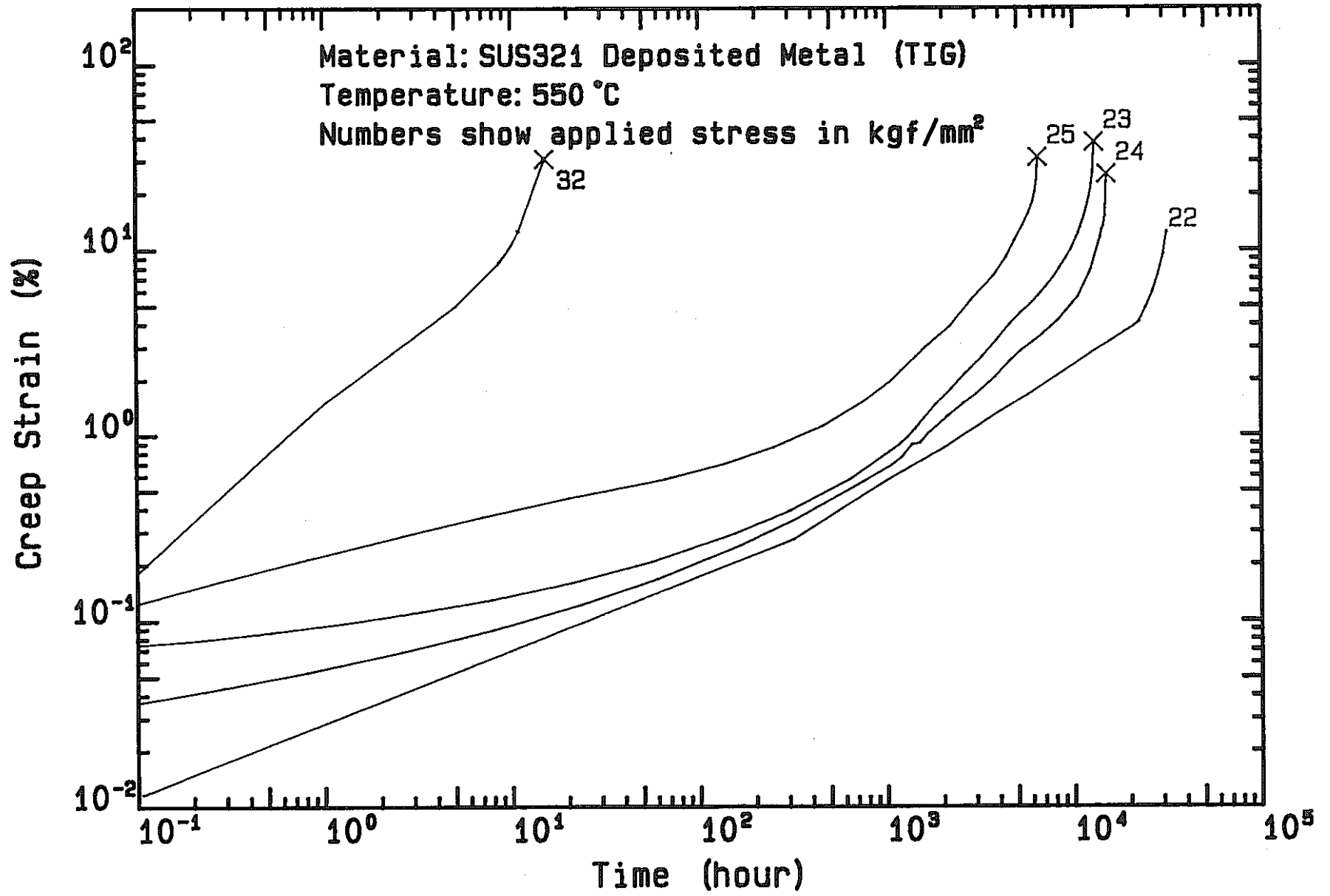


図 8. 11 550°C における SUS321 溶着金属のクリープ曲線

Fig. 8. 11 Creep Curves at 550°C FOR SUS321 Deposited Metal

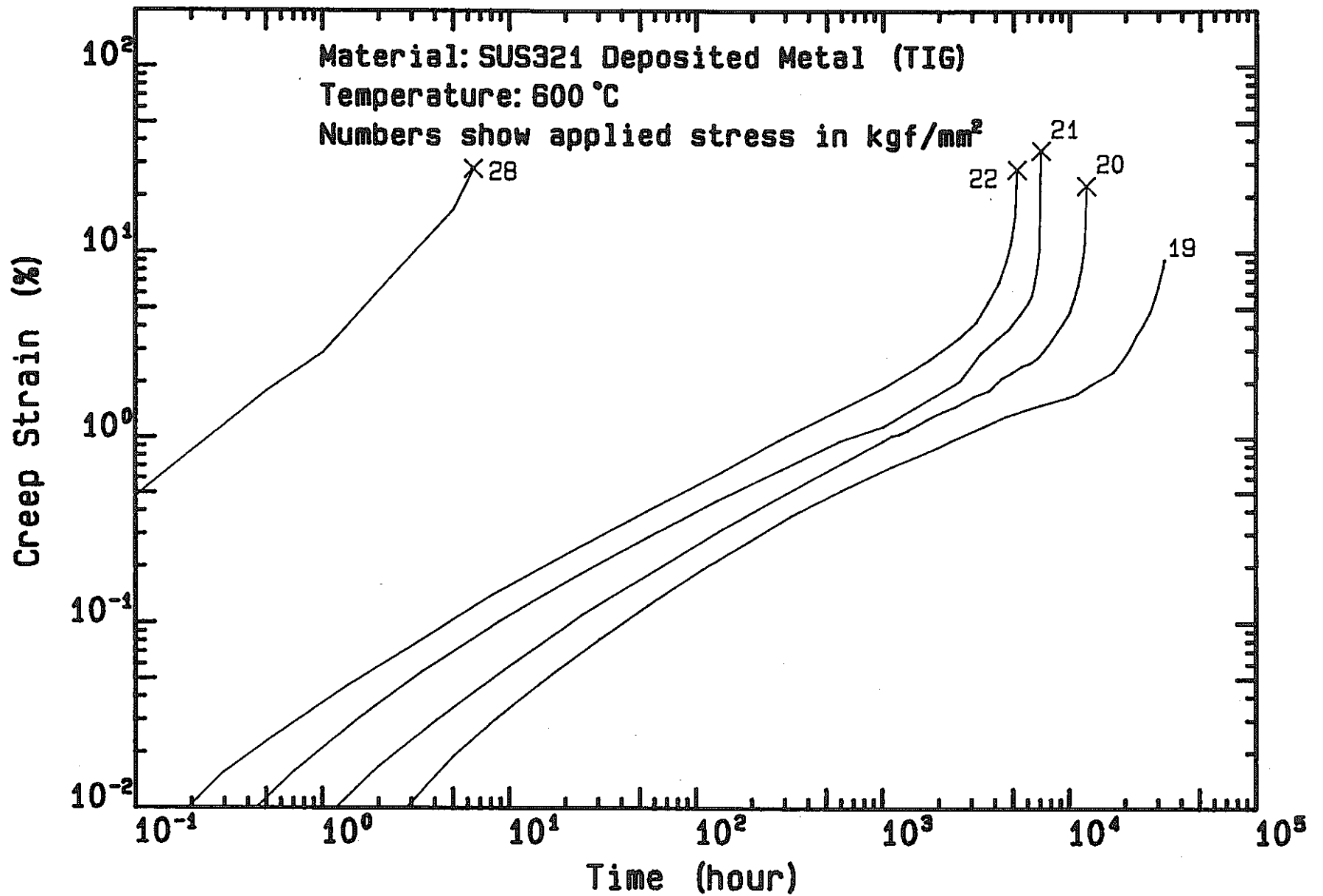


図 8. 12 600°C における SUS321 溶着金属のクリープ曲線

Fig. 8. 12 Creep Curves at 600°C For SUS321 Deposited Metal

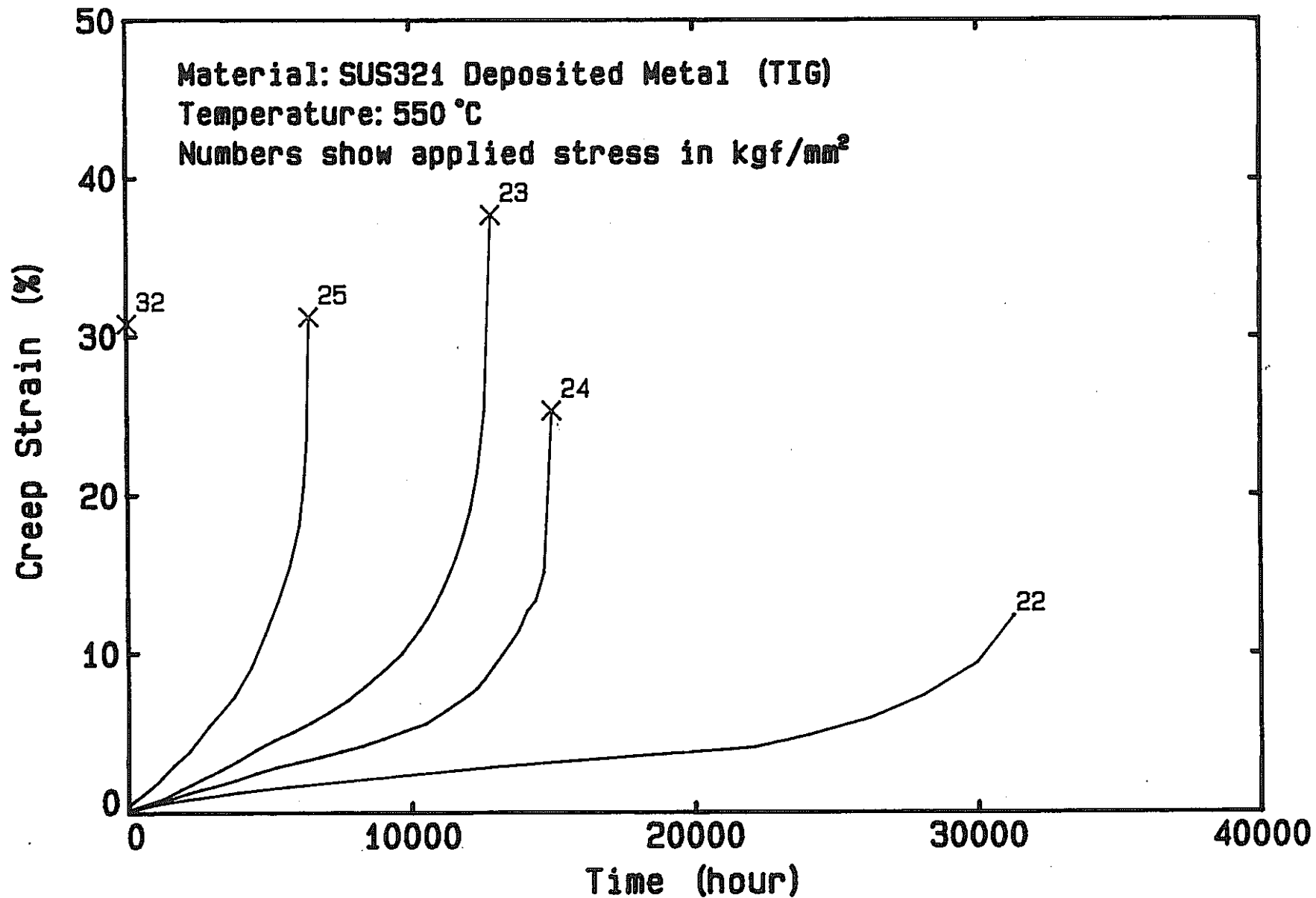


図 8. 13 550 °C における SUS321 溶着金属のクリープ曲線

Fig. 8. 13 Creep Curves at 550°C for SUS321 Deposited Metal

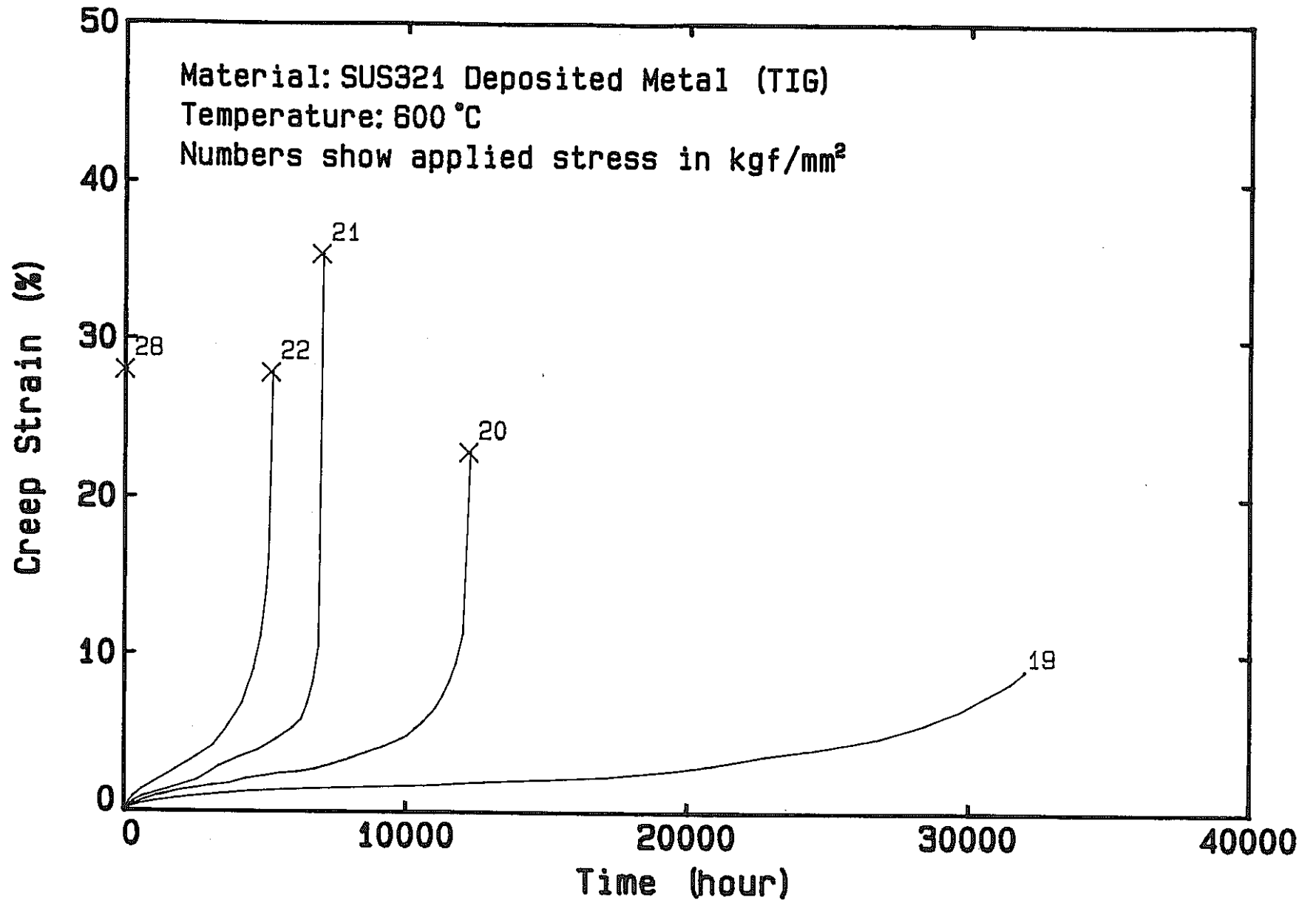


図 8. 14 600°C における SUS321 溶着金属のクリープ曲線

Fig. 8. 14 Creep Curves at 600°C for SUS321 Deposited Metal

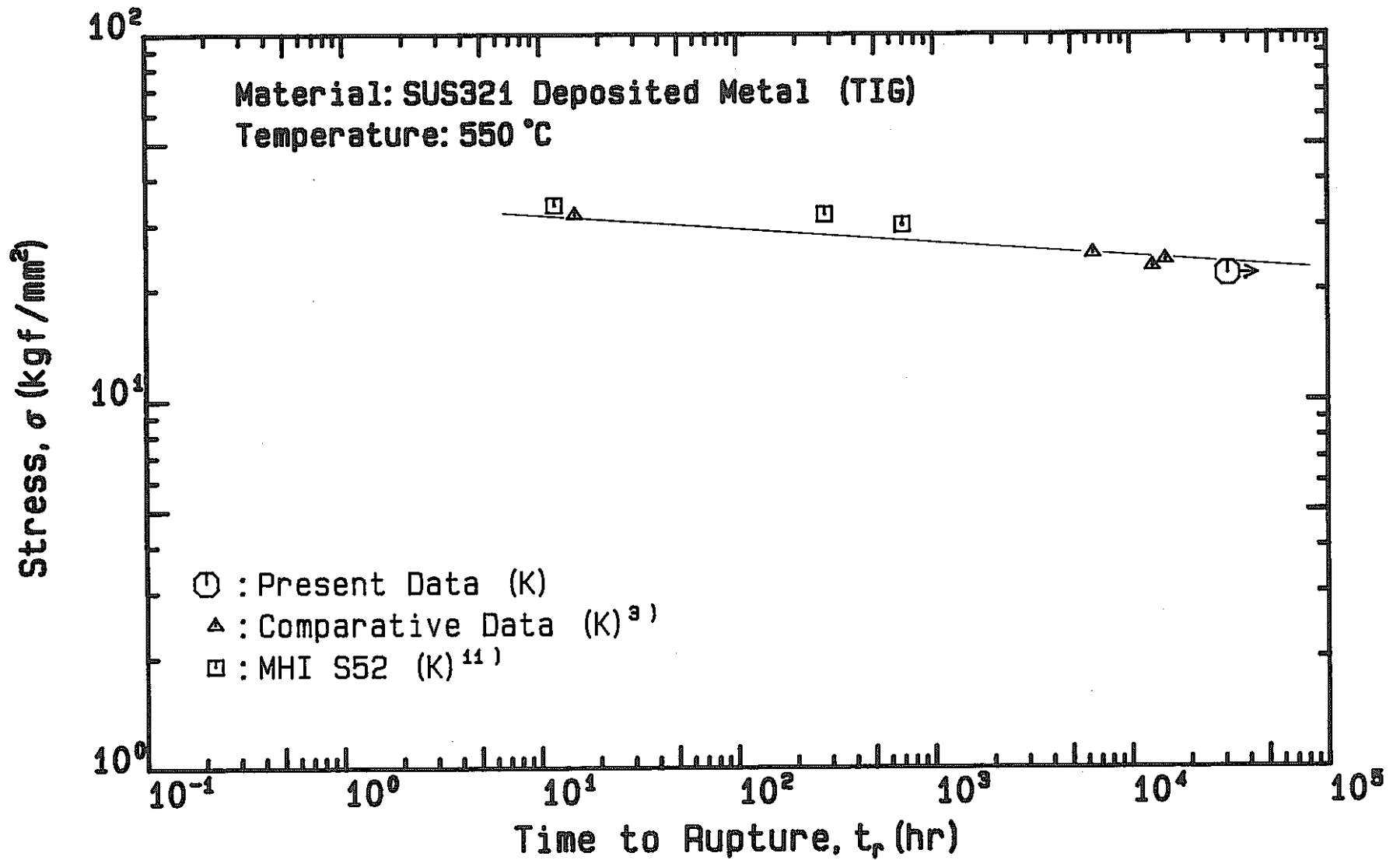


図 8. 15 SUS321 溶着金属のクリープ破断時間 (550°C)

Fig. 8. 15 Creep Rupture Time of SUS321 Deposited Metal (550°C)

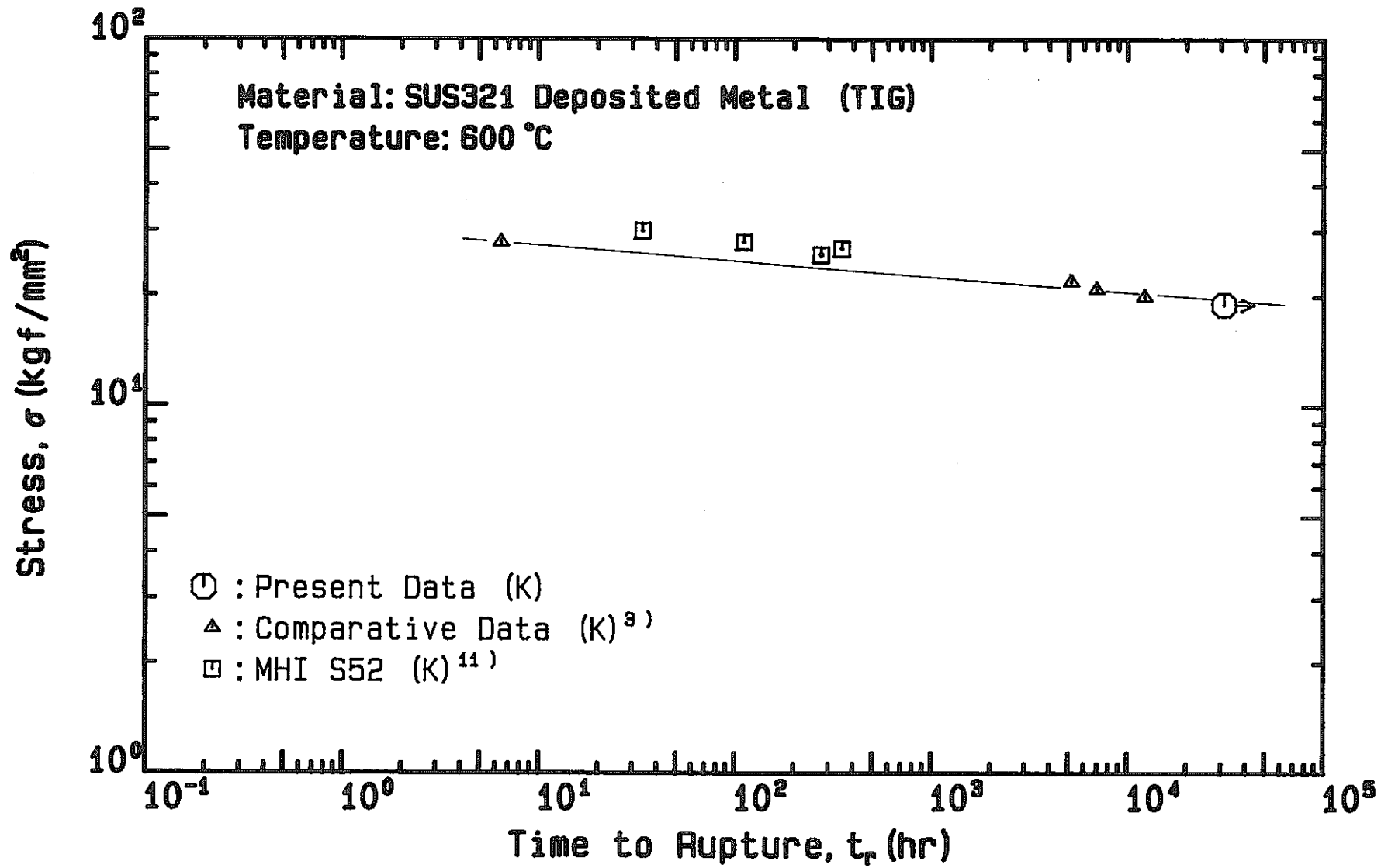


図 8. 16 SUS321 溶着金属のクリープ破断時間 (600°C)

Fig. 8. 16 Creep Rupture Time of SUS321 Deposited Metal (600°C)

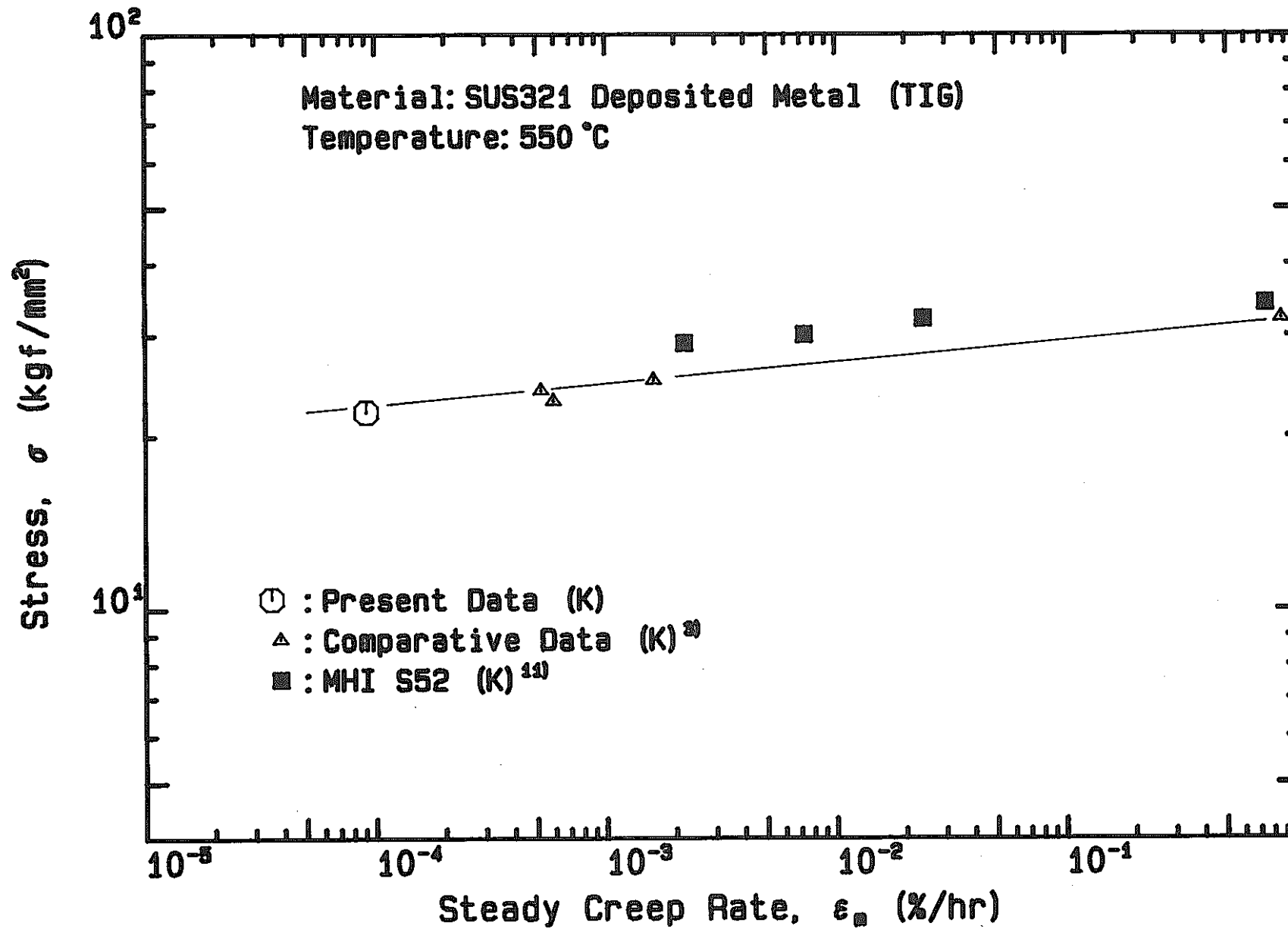


図 8. 17 SUS321 溶着金属の応力と定常クリープ速度の関係 (550°C)

Fig. 8. 17 Relation between Stress and Steady Creep Rate for SUS321 Deposited Metal (550°C)

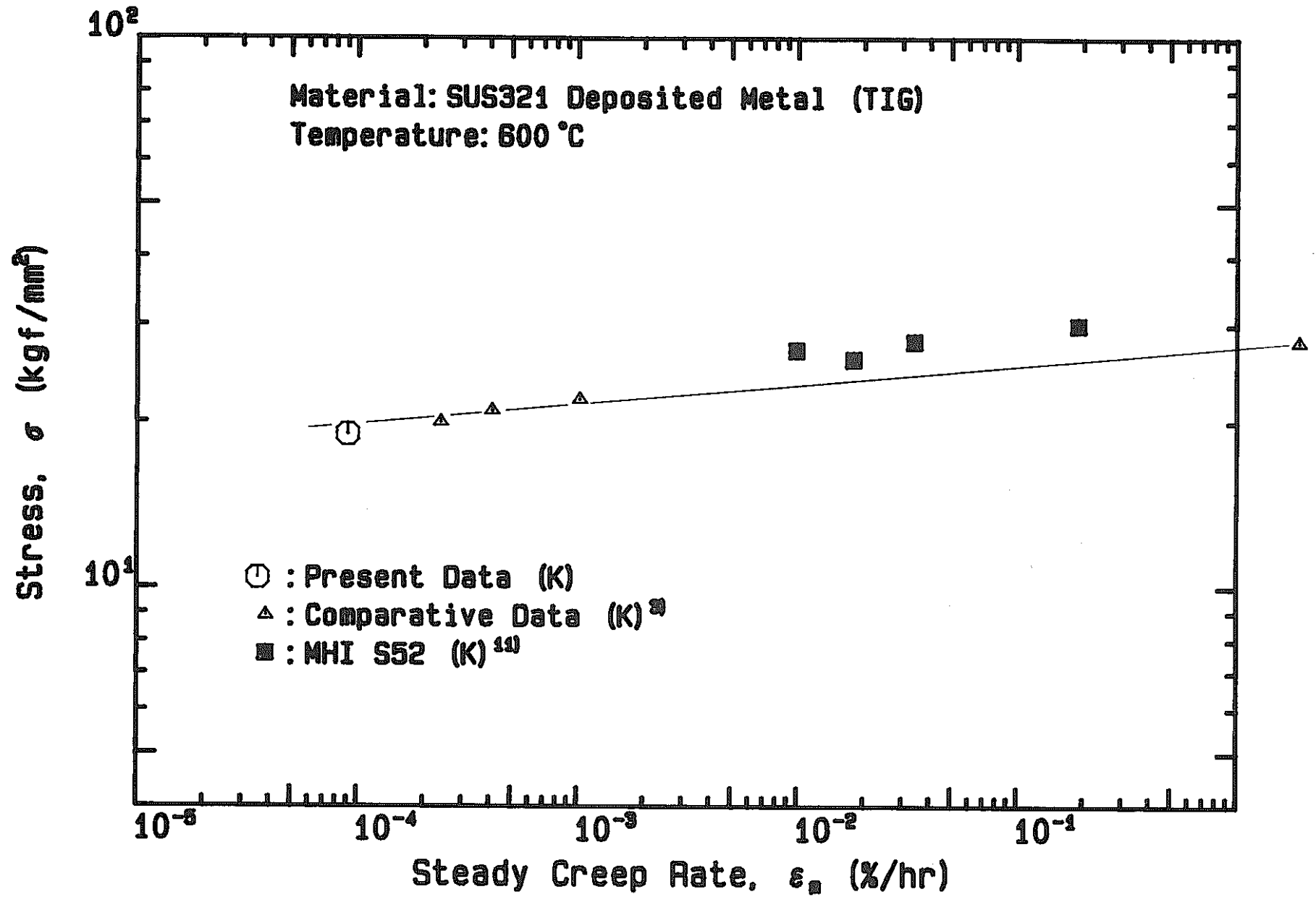


図 8. 18 SUS321 溶着金属の応力と定常クリープ速度の関係 (600°C)

Fig. 8. 18 Relation between Stress and Steady Creep Rate for SUS321 Deposited Metal (600°C)

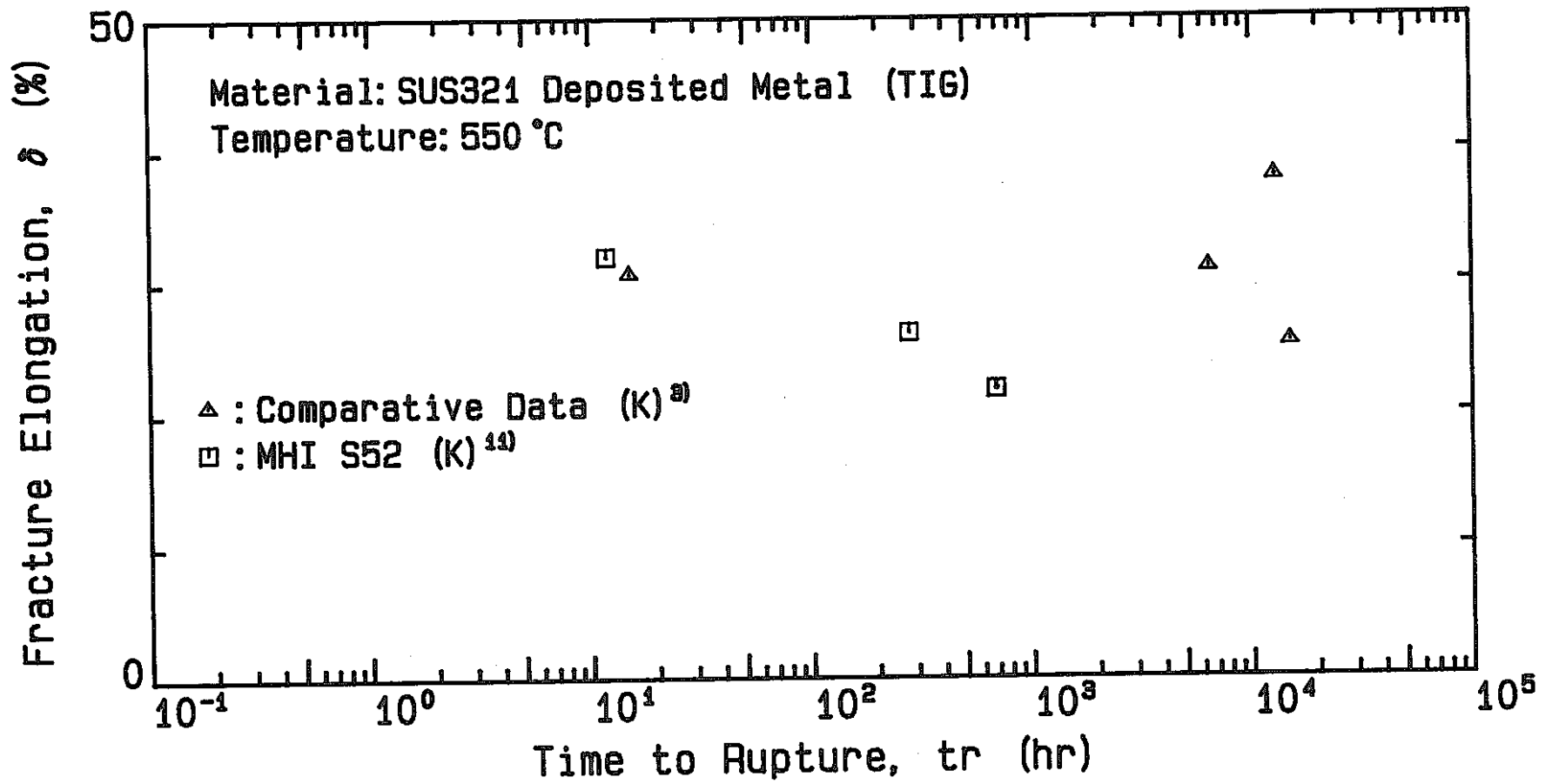


図 8. 19 SUS321 溶着金属の破断伸びと破断時間の関係 (550°C)

Fig. 8. 19 Relation between Fracture Elongation and Time to Rupture for SUS321 Deposited Metal (550°C)

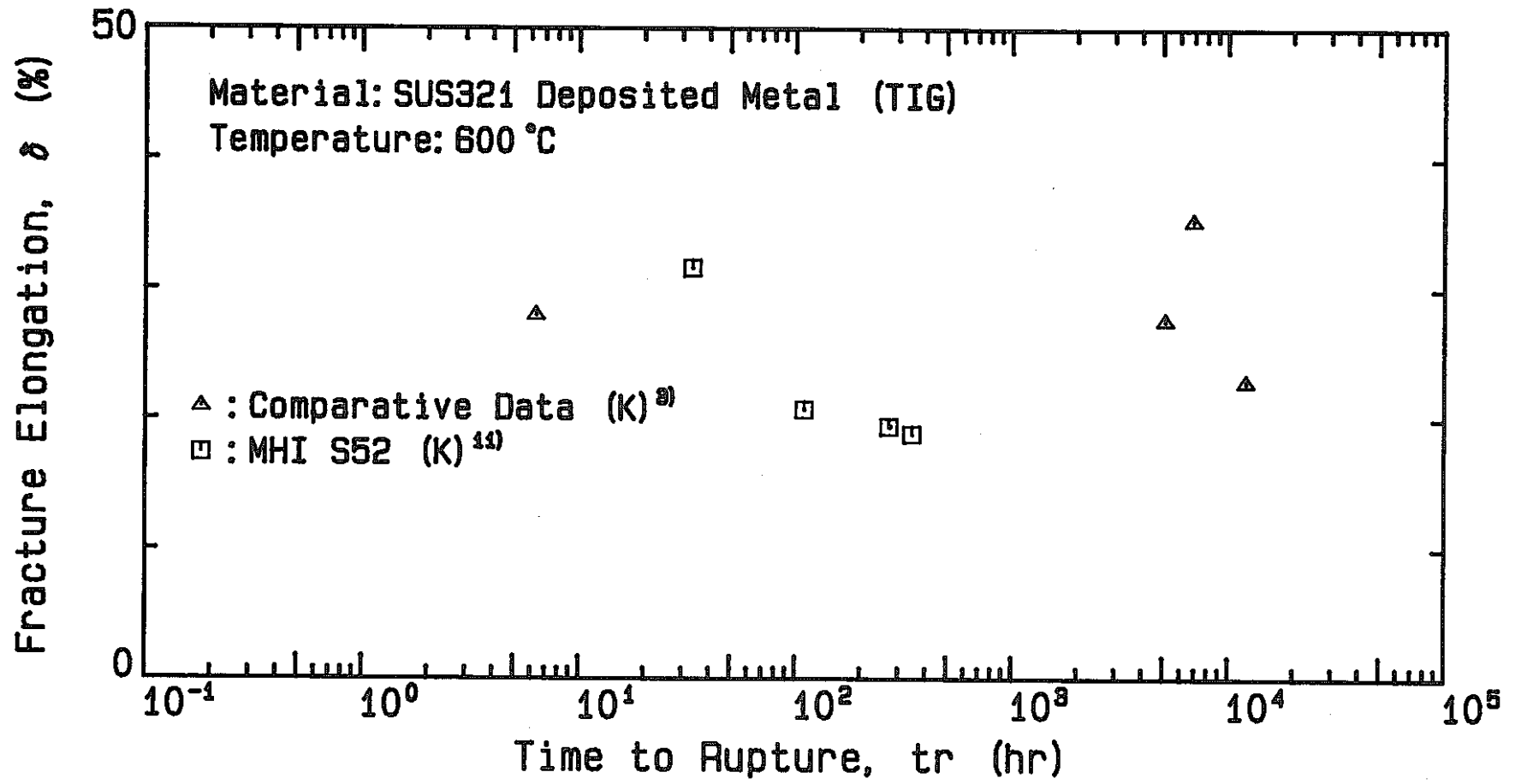


図 8. 20 SUS321 溶着金属の破断伸びと破断時間の関係 (600 °C)

Fig. 8. 20 Relation between Fracture Elongation and Time to Rupture for SUS321 Deposited Metal (600 °C)

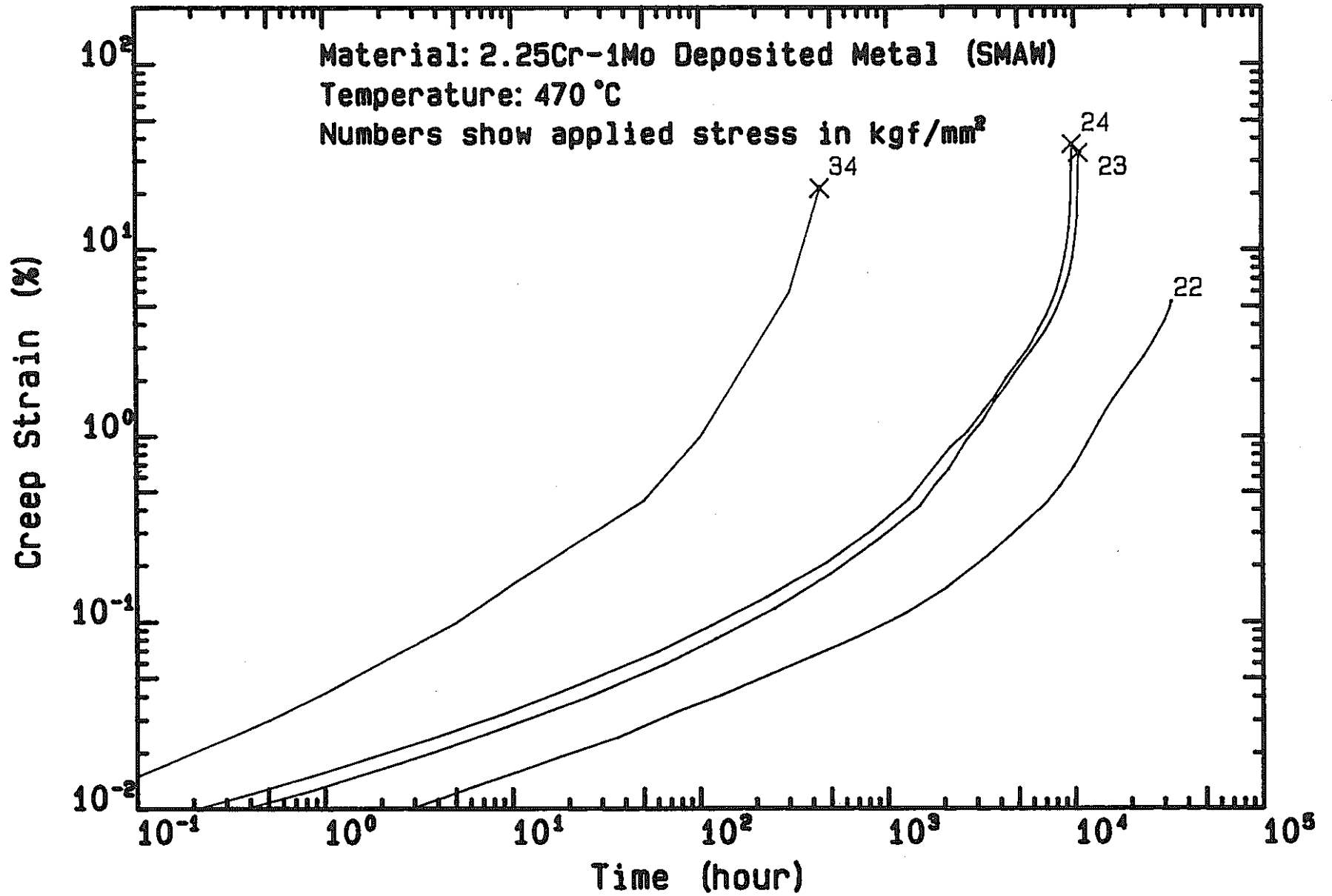


図 8. 21 470°C における 2¼Cr-1Mo 溶着金属のクリープ曲線

Fig. 8. 21 Creep Curves at 470°C for 2¼Cr-1Mo Deposited Metal

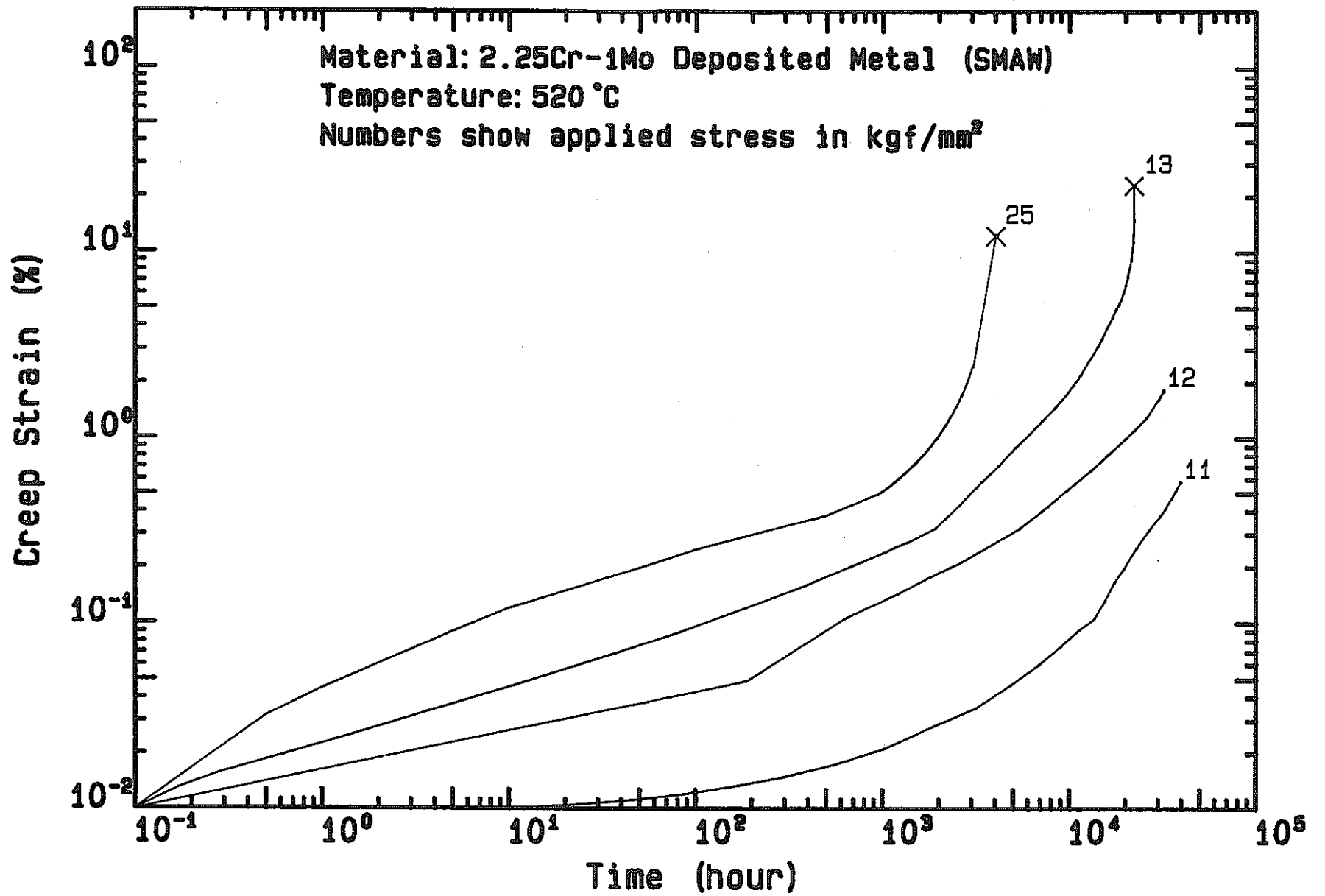


図 8. 22 520°C における 2¼Cr-1Mo 溶着金属のクリープ曲線

Fig. 8. 22 Creep Curves at 520°C for 2¼Cr-1Mo Deposited Metal

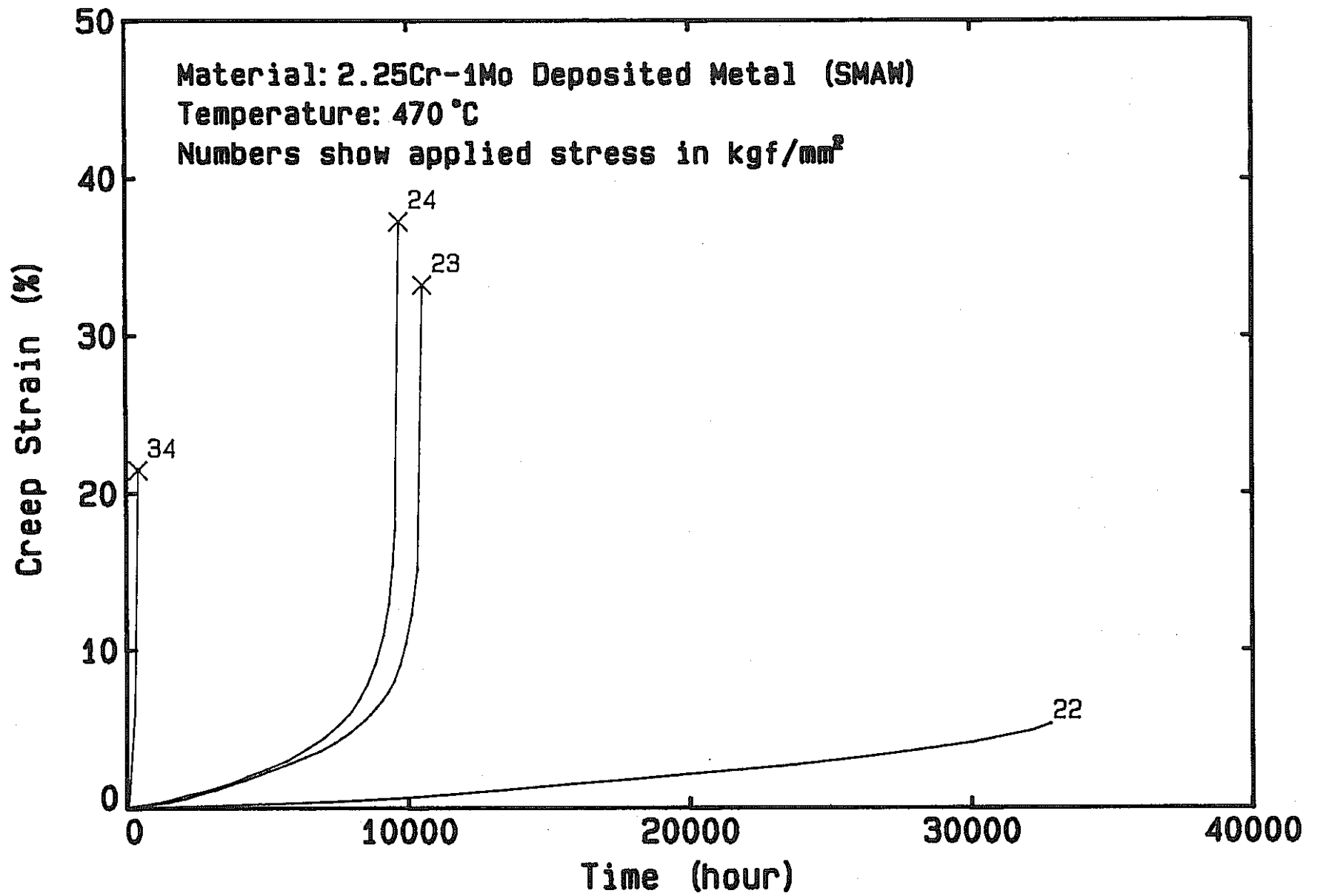


図 8. 23 470°C における 2¼Cr-1Mo 溶着金属のクリープ曲線

Fig. 8. 23 Creep Curves at 470°C for 2¼Cr-1Mo Deposited Metal

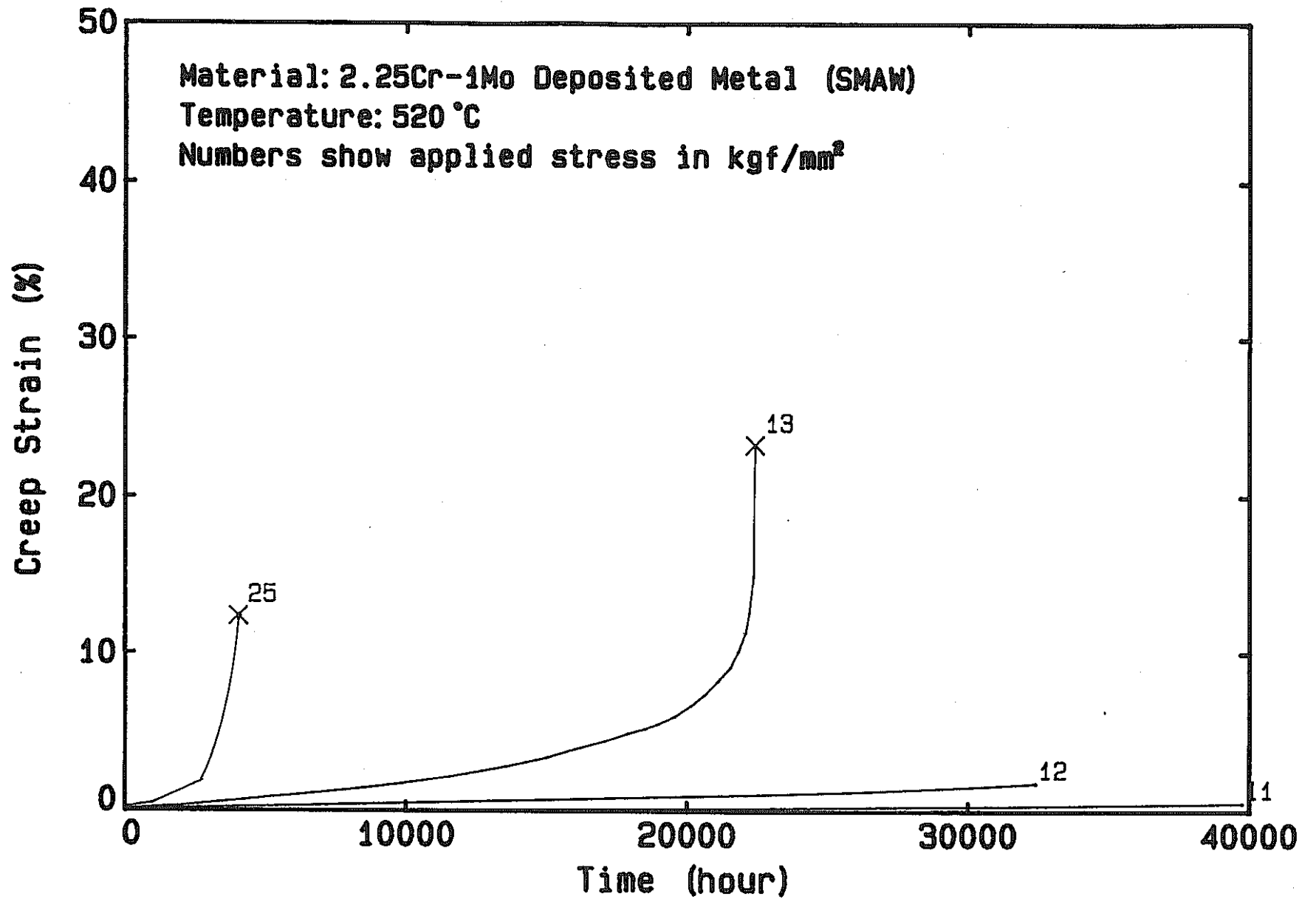


図 8. 24 520°C における 2¼Cr-1Mo 溶着金属のクリープ曲線

Fig. 8. 24 Creep Curves at 520°C for 2¼Cr-1Mo Deposited Metal

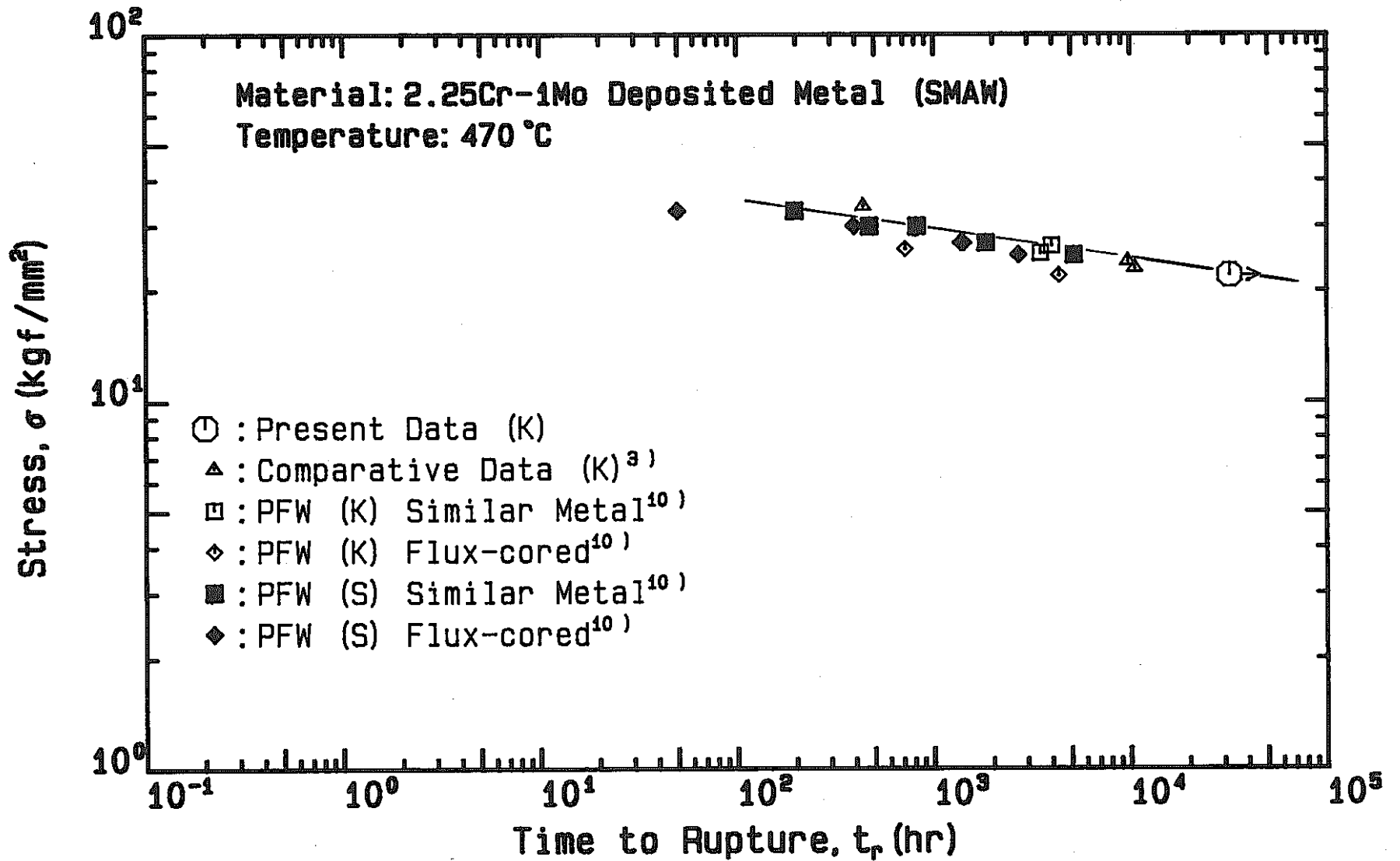


図 8. 25 2¼Cr-1Mo 溶着金属のクリープ破断時間 (470°C)

Fig. 8. 25 Creep Rupture Time of 2¼Cr-1Mo Deposited Metal (470°C)

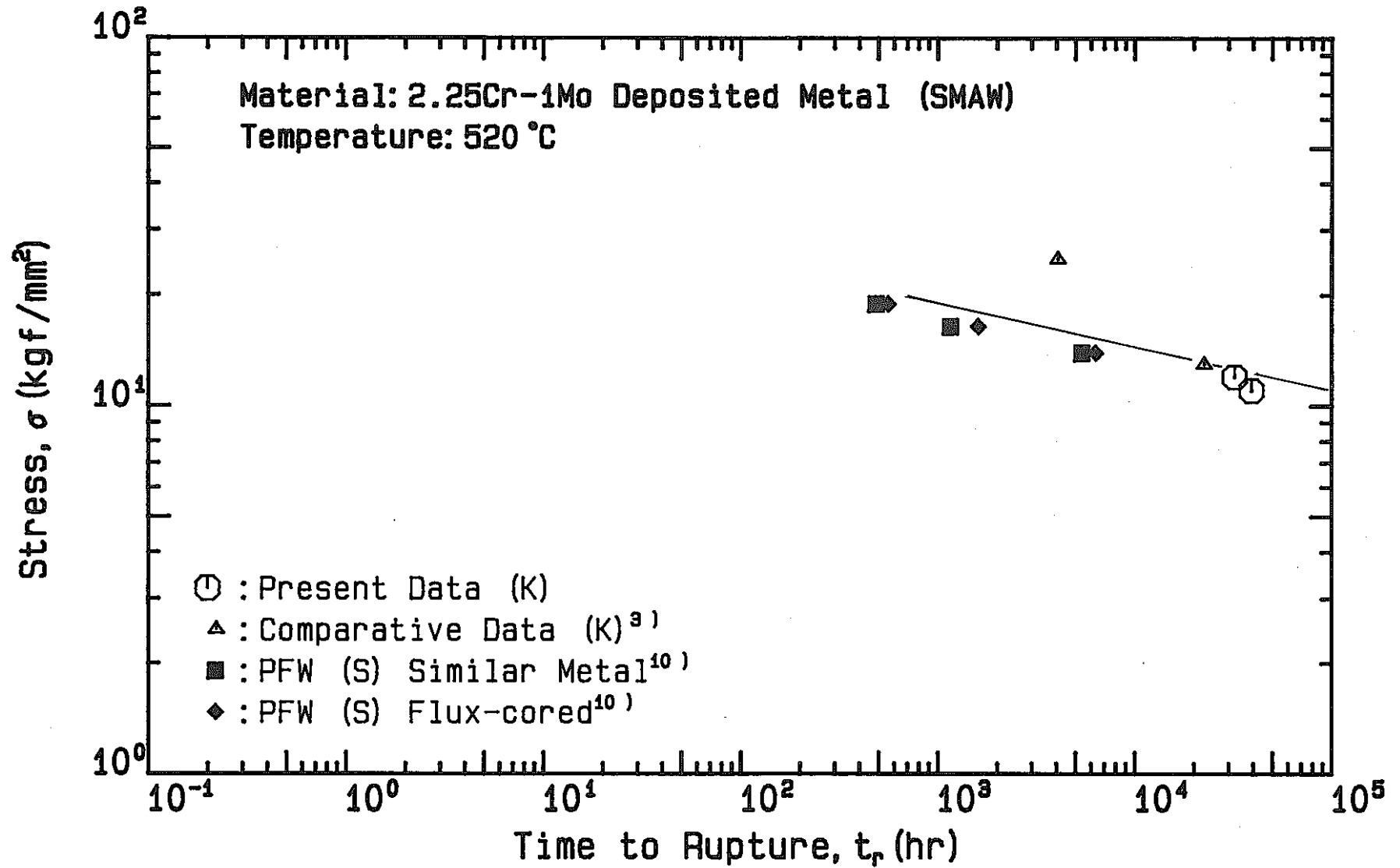


図 8. 26 2¼Cr-1Mo 溶着金属のクリープ破断時間 (520°C)

Fig. 8. 26 Creep Rupture Time of 2¼Cr-1Mo Deposited Metal (520°C)

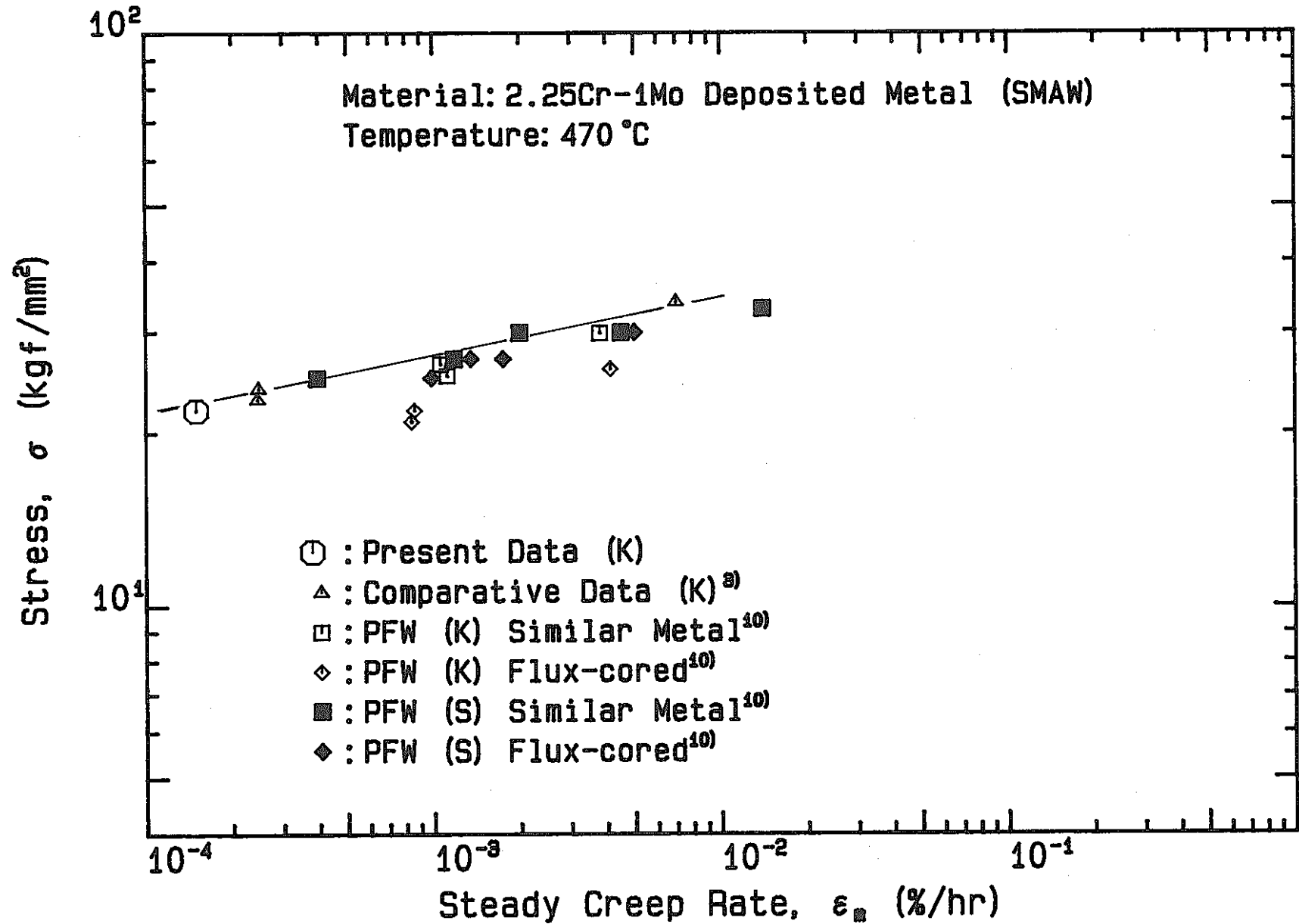


図 8. 27 2¼Cr-1Mo 溶着金属の応力と定常クリープ速度の関係 (470°C)

Fig. 8. 27 Relation between Stress and Steady Creep Rate for 2¼Cr-1Mo Deposited Metal (470°C)

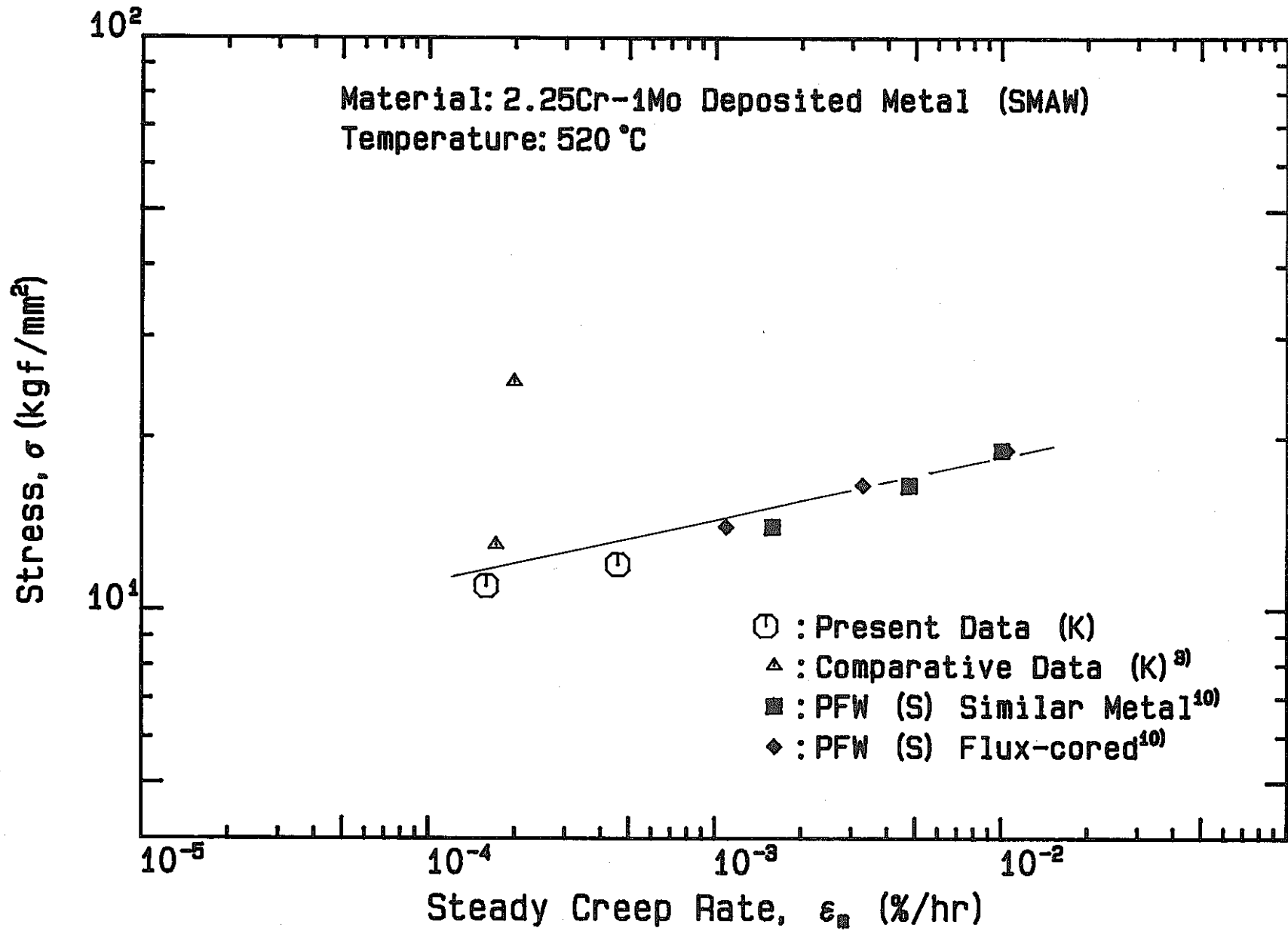


図 8. 28 2¼Cr-1Mo 溶着金属の応力と定常クリープ速度の関係 (520°C)
Fig. 8. 28 Relation between Stress and Steady Creep Rate for 2¼Cr-1Mo Deposited Metal (520°C)

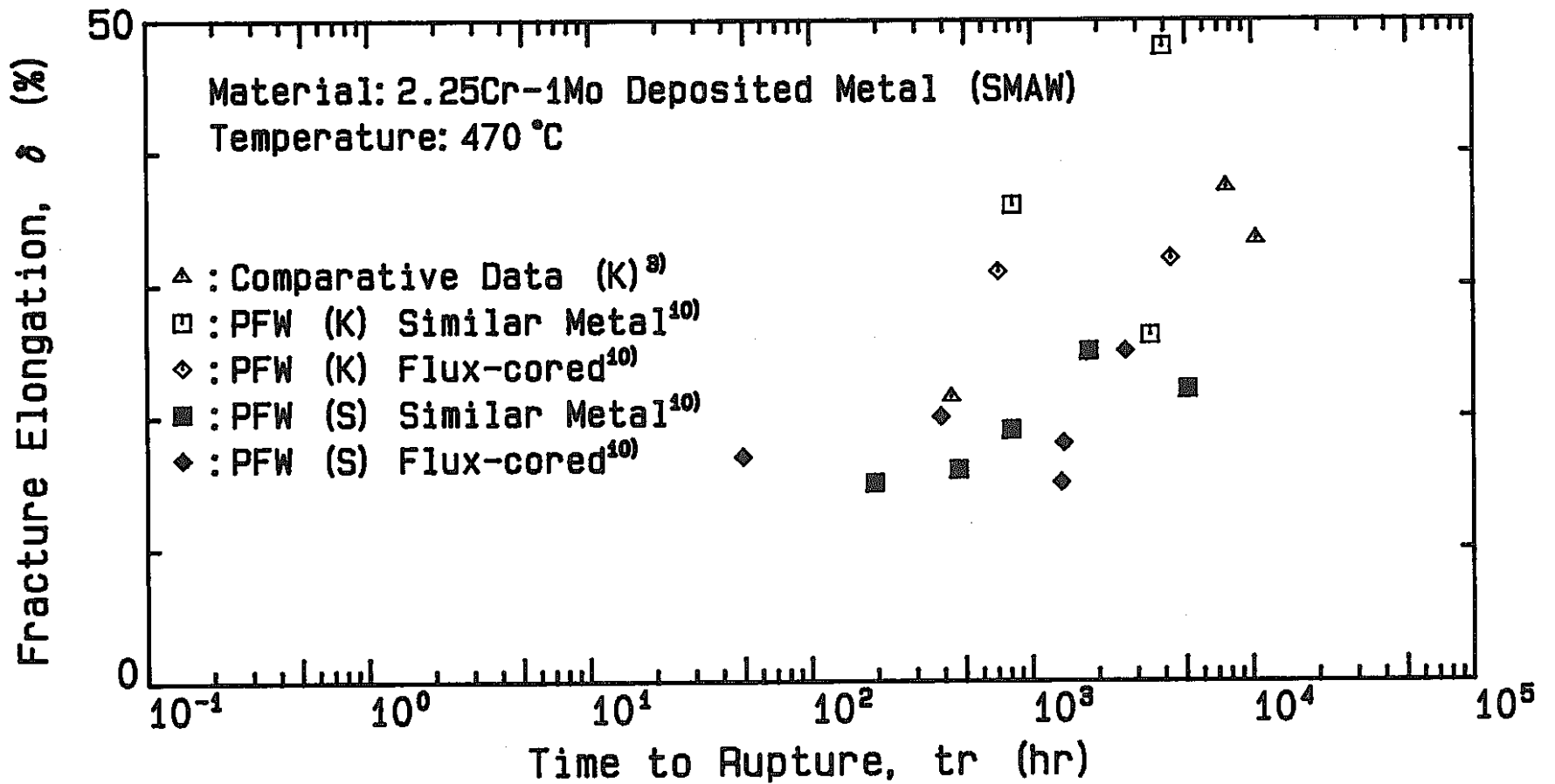


図 8. 29 2¼Cr-1Mo 溶着金属の破断伸びと破断時間の関係 (470°C)

Fig. 8. 29 Relation between Fracture Elongation and Time to Rupture for 2¼Cr-1Mo Deposited Metal (470°C)

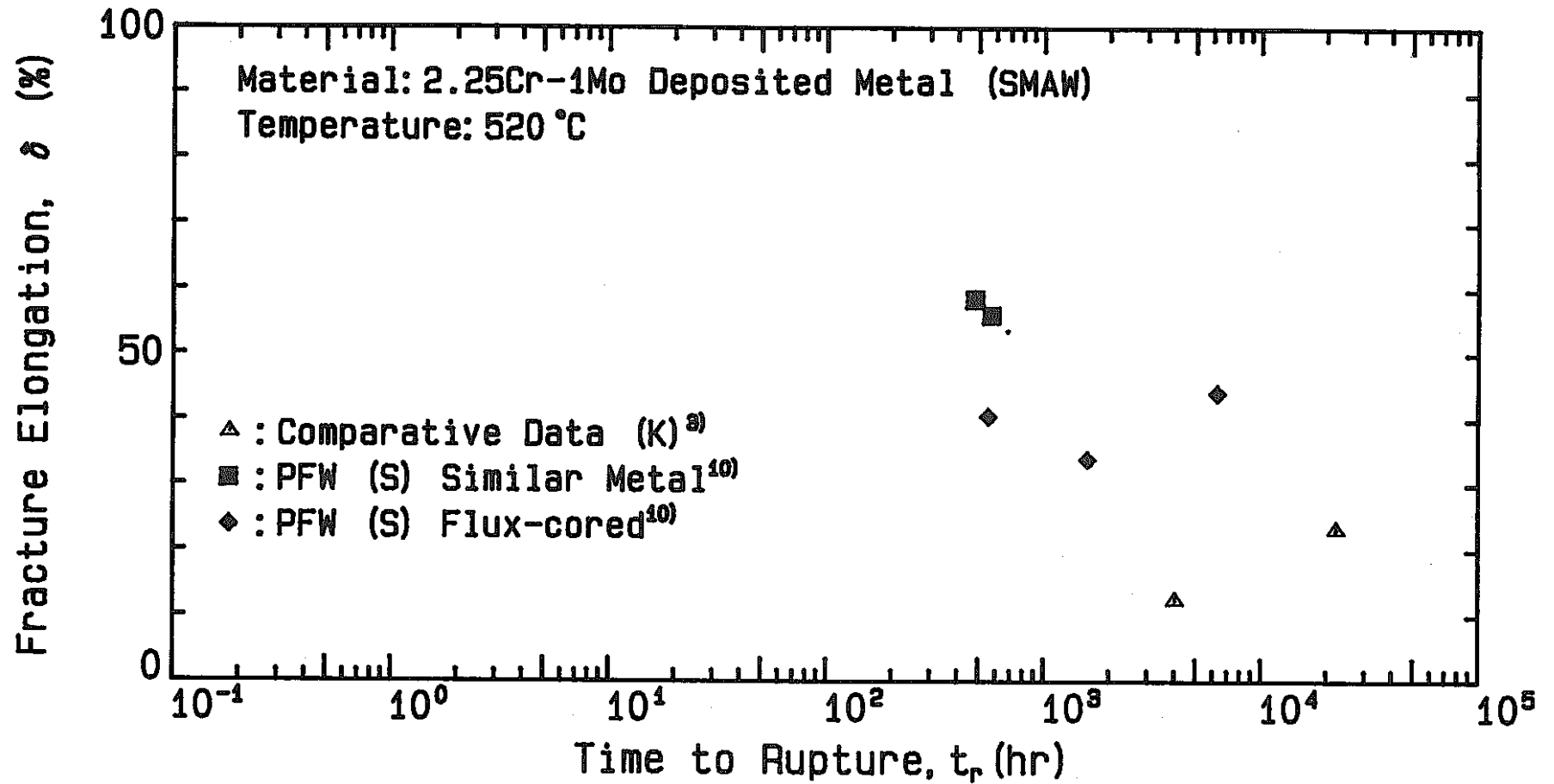


図 8. 30 2¼Cr-1Mo 溶着金属の破断伸びと破断時間の関係 (520°C)

Fig. 8. 30 Relation between Fracture Elongation and Time to Rupture for 2¼Cr-1Mo Deposited Metal (520°C)

9. 結 言

高速炉構造材料 SUS304 鋼板材に関して EB 溶接金属の基本材料特性を把握するため EB 溶接施工を行い、高温引張試験、クリープ試験および高温疲労試験、また 9Cr 系鋼板 2 鋼種に関して、SUS304 鋼との異材継手評価のため、母材および異材継手について高温引張試験、クリープ試験を実施し次の知見を得た。

- (1) SUS304 鋼板 EB 溶接金属は母材に比して、0.2%耐力では高目となっているが、引張強さでは同等かやや低目となっている。また破断伸びおよび絞り値は低目の値を示す。
- (2) SUS304 鋼板 EB 溶接金属のクリープ破断強度は母材に比して若干下回っている。
- (3) Mod. 9Cr-1Mo 鋼板材は 9Cr-1MoVNb 鋼板材に比べ、引張強度は若干高いが、引張破断延性は小さい。
- (4) Mod. 9Cr-1Mo (NT) の S_y 値および S_u 値と比較すると、Mod. 9Cr-1Mo 鋼板材は若干高目の値を示すが、9Cr-1MoVNb 鋼板材は同等か若干低目の値を示す。
- (5) Mod. 9Cr-1Mo 鋼板材は 9Cr-1MoVNb 鋼板材に比べ、クリープ破断強度は高いが、クリープ破断延性は小さい。
- (6) Mod. 9Cr-1Mo (NT) の S_R 値と比較すると、Mod. 9Cr-1Mo 鋼板材は同等か若干上回る傾向を示しているが、9Cr-1MoVNb 鋼板材では同等か若干低目の値を示している。
- (7) SUS304 / Mod. 9Cr-1Mo 異材継手の引張特性は高温で SUS304 鋼部で破断し、引張強さも母材値にほぼ等しい。一方、SUS304 / 9Cr-1MoVNb 異材継手の破断位置は 500℃で SUS304 鋼部、550℃で 9Cr-1MoVNb 鋼部である。

参 考 文 献

- 1) 動力炉核燃料開発事業団, “高速原型炉高温構造設計方針材料強度基準等”, PNC N241 84-08, 昭和59年9月
- 2) 川崎重工業(株), “溶接部高温強度データの拡充試験(構造材料試験85-4)”, PNC SJ2056 86-001, 1986年3月
- 3) 川崎重工業(株), “溶接部高温強度データの拡充試験(Ⅱ)(成果報告書)”, PNC SJ2055 87-002, 1987年3月
- 4) 動力炉核燃料開発事業団, “Mod.9Cr-1Mo(NT)の材料強度基準等(暫定値)”, 昭和61年10月
- 5) 東京芝浦電気(株), “SUS304母材、予ひずみインコネル718母材の高温挙動試験(構造材料試験77-2)”, PNC SJ201 78-09 1978年9月
- 6) 富士電気製造(株), “SUS304鋼板材および鍛造材の引張試験および疲労試験(構造材料試験77-4)”, PNC SJ203 78-08, 1978年7月
- 7) 東京芝浦電気(株), “SUS304鋼のクリープ試験, クリープ挙動試験および多軸挙動試験(構造材料試験80-1)”, PNC SJ201 81-42, 1981年9月
- 8) 石川島播磨重工業(株), “2¼Cr-1Mo鋼伝熱管のPWHT効果およびSUS316鋼鍛造材の高温強度試験(構造材料試験79-8)”, PNC SJ218 80-07, 1981年10月
- 9) 東京芝浦電気(株), “SUS304母材、予ひずみおよびインコネル718母材の高温挙動試験(構造材料試験78-2)”, PNC SJ201 79-42 1979年8月
- 10) 日本溶接協会原子力研究委員会PFW小委員会Aグループ, “高速炉構造用溶接材料の評価試験成果報告書”, SJ225-80-02, 昭和55年3月
- 11) 三菱重工業(株), “SUS321板材溶接金属部の引張およびクリプ試験成果報告書”, SJ222 78-14, 1978年9月
- 12) 川崎重工業(株), “SUS304板材のピーク応力に対する緩和クリープ損傷係数の評価試験(構造材料試験82-4)”, 1983年3月

FBR 金属材料試験計画表

FBR Metallic Materials Test Planning Sheet

No. _____

昭和 年 月 日
Date: _____

所属名 Affiliation	承認 Approved by	審査 Reviewed by	作成 Prepared by

- 提案計画 Proposed Plan
- 合意した計画 Approved Plan
- 完了した計画 Accomplished Plan

分類番号 No.	項 Item	目 Item	内容説明 Descriptions																																																																																
1	試験題 Subject	II	SUS304の電子ビーム溶接継手の基本材料特性試験																																																																																
2	試験目的 Objective	II	電子ビーム溶接法の大型炉への適用を図るため、電子ビーム溶接継手の基本材料特性試験を実施しデータの蓄積を行う。																																																																																
3	試験概要 Contents	II	SUS304電子ビーム溶接金属及び継手の引張、クリープ、疲労及びクリープ疲労試験																																																																																
4	対象機器 Objective Component	II	高速炉機器全般																																																																																
5	試験材料 Materials	II	材料名 Name: SUS304 製造種別 Production Form: EBW 寸法他 Size (thickness and other):																																																																																
6	雰囲気 Environment	II	<input type="checkbox"/> 大気中 In Air <input type="checkbox"/> アルゴン中 In Ar <input type="checkbox"/> 真空中 In Vacuum <input type="checkbox"/> 静止Na中 In Stagnant Sodium <input type="checkbox"/> 流動Na中 In Flowing Sodium <input type="checkbox"/> 窒素中 In N ₂ <input type="checkbox"/> その他 Others <input type="checkbox"/> ヘリウム中 In He																																																																																
7	試験名 Type of Test	II	引張試験 Tensile Test 高速引張試験 High Speed Tensile Test クリープ試験 Creep Test 低サイクル破れ試験 Fatigue Test <input checked="" type="checkbox"/> Creep-Fatigue Test リラクゼーション試験 Relaxation Test その他 Others																																																																																
	パラメータ Parameter	II	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>材料チャージ数 No. of Material Charges</td> <td>溶金</td> <td>横手</td> <td>縦手</td> <td>溶金</td> <td>横手</td> <td>縦手</td> <td>溶金</td> <td>横手</td> <td>縦手</td> </tr> <tr> <td>温度レベル数 No. of Temp. Levels</td> <td>4</td> <td>10</td> <td>4</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>応力レベル数 No. of Stress Levels</td> <td colspan="3"></td> <td>2</td> <td>5</td> <td>2</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td>ひずみ(範囲)レベル数 No. of Strain(Range) Levels</td> <td colspan="3"></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>ひずみ速度レベル数 No. of Strain Rate Levels</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td colspan="3"></td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>保持時間数 No. of Hold Time Levels</td> <td colspan="3"></td> <td colspan="3"></td> <td>2</td> <td>1</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>反復回数 No. of Repetition</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>試験片総数 Total No. of Test Specimens</td> <td>8</td> <td>20</td> <td>8</td> <td>6</td> <td>15</td> <td>6</td> <td>9</td> <td>15</td> <td>9</td> </tr> </table>	材料チャージ数 No. of Material Charges	溶金	横手	縦手	溶金	横手	縦手	溶金	横手	縦手	温度レベル数 No. of Temp. Levels	4	10	4	3	3	3	3	3	3	応力レベル数 No. of Stress Levels				2	5	2				ひずみ(範囲)レベル数 No. of Strain(Range) Levels							1	1	1	ひずみ速度レベル数 No. of Strain Rate Levels	1	1	1				1	1	1	保持時間数 No. of Hold Time Levels							2	1	2	反復回数 No. of Repetition	2	2	2	1	1	1	1	1	1	試験片総数 Total No. of Test Specimens	8	20	8	6	15	6	9	15	9
材料チャージ数 No. of Material Charges	溶金	横手	縦手	溶金	横手	縦手	溶金	横手	縦手																																																																										
温度レベル数 No. of Temp. Levels	4	10	4	3	3	3	3	3	3																																																																										
応力レベル数 No. of Stress Levels				2	5	2																																																																													
ひずみ(範囲)レベル数 No. of Strain(Range) Levels							1	1	1																																																																										
ひずみ速度レベル数 No. of Strain Rate Levels	1	1	1				1	1	1																																																																										
保持時間数 No. of Hold Time Levels							2	1	2																																																																										
反復回数 No. of Repetition	2	2	2	1	1	1	1	1	1																																																																										
試験片総数 Total No. of Test Specimens	8	20	8	6	15	6	9	15	9																																																																										
8	試験内容 Test Parameters	II	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td> <input type="checkbox"/> Fracture Test <input type="checkbox"/> Stress-Strain Curve Temp. RT, 100, 200, 300, 400, 450, 500, 550, 600, 650 Strain Rate: </td> <td> <input type="checkbox"/> Fracture Test <input type="checkbox"/> Stress-Strain Curve Temp. Strain Rate </td> <td> <input type="checkbox"/> Rupture Test <input type="checkbox"/> Creep Curve <input type="checkbox"/> Internal Pressure Creep Temp. 500, 550, 600 Stress Time 300, 1000, 3000, 6000, 12000 hr </td> <td> <input type="checkbox"/> Life <input type="checkbox"/> Notched Cyclic Stress-Strain Curve <input type="checkbox"/> Crack Behavior <input type="checkbox"/> Rotating Bending <input type="checkbox"/> Plane Bending Temp. 500, 550, 600 Strain Range 1.5, 1.0, 0.7, 0.5% Strain Rate 0.1%/sec Load Duration 0, 10 min </td> <td> <input type="checkbox"/> Relaxation Stress <input type="checkbox"/> Relaxation Curve Temp. Strain Time </td> <td> <input type="checkbox"/> 水銀材料試験 <input type="checkbox"/> 多軸材料試験 <input type="checkbox"/> 構造物挙動試験 <input type="checkbox"/> 衝撃試験 <input type="checkbox"/> 硬度試験 <input type="checkbox"/> 腐食試験 <input type="checkbox"/> 光学顕微鏡観察 <input type="checkbox"/> 透過型電子顕微鏡 <input type="checkbox"/> TEM <input type="checkbox"/> SEM <input type="checkbox"/> EPMMA <input type="checkbox"/> その他 </td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/> Fracture Test <input type="checkbox"/> Stress-Strain Curve Temp. RT, 100, 200, 300, 400, 450, 500, 550, 600, 650 Strain Rate:	<input type="checkbox"/> Fracture Test <input type="checkbox"/> Stress-Strain Curve Temp. Strain Rate	<input type="checkbox"/> Rupture Test <input type="checkbox"/> Creep Curve <input type="checkbox"/> Internal Pressure Creep Temp. 500, 550, 600 Stress Time 300, 1000, 3000, 6000, 12000 hr	<input type="checkbox"/> Life <input type="checkbox"/> Notched Cyclic Stress-Strain Curve <input type="checkbox"/> Crack Behavior <input type="checkbox"/> Rotating Bending <input type="checkbox"/> Plane Bending Temp. 500, 550, 600 Strain Range 1.5, 1.0, 0.7, 0.5% Strain Rate 0.1%/sec Load Duration 0, 10 min	<input type="checkbox"/> Relaxation Stress <input type="checkbox"/> Relaxation Curve Temp. Strain Time	<input type="checkbox"/> 水銀材料試験 <input type="checkbox"/> 多軸材料試験 <input type="checkbox"/> 構造物挙動試験 <input type="checkbox"/> 衝撃試験 <input type="checkbox"/> 硬度試験 <input type="checkbox"/> 腐食試験 <input type="checkbox"/> 光学顕微鏡観察 <input type="checkbox"/> 透過型電子顕微鏡 <input type="checkbox"/> TEM <input type="checkbox"/> SEM <input type="checkbox"/> EPMMA <input type="checkbox"/> その他																																																																										
<input type="checkbox"/> Fracture Test <input type="checkbox"/> Stress-Strain Curve Temp. RT, 100, 200, 300, 400, 450, 500, 550, 600, 650 Strain Rate:	<input type="checkbox"/> Fracture Test <input type="checkbox"/> Stress-Strain Curve Temp. Strain Rate	<input type="checkbox"/> Rupture Test <input type="checkbox"/> Creep Curve <input type="checkbox"/> Internal Pressure Creep Temp. 500, 550, 600 Stress Time 300, 1000, 3000, 6000, 12000 hr	<input type="checkbox"/> Life <input type="checkbox"/> Notched Cyclic Stress-Strain Curve <input type="checkbox"/> Crack Behavior <input type="checkbox"/> Rotating Bending <input type="checkbox"/> Plane Bending Temp. 500, 550, 600 Strain Range 1.5, 1.0, 0.7, 0.5% Strain Rate 0.1%/sec Load Duration 0, 10 min	<input type="checkbox"/> Relaxation Stress <input type="checkbox"/> Relaxation Curve Temp. Strain Time	<input type="checkbox"/> 水銀材料試験 <input type="checkbox"/> 多軸材料試験 <input type="checkbox"/> 構造物挙動試験 <input type="checkbox"/> 衝撃試験 <input type="checkbox"/> 硬度試験 <input type="checkbox"/> 腐食試験 <input type="checkbox"/> 光学顕微鏡観察 <input type="checkbox"/> 透過型電子顕微鏡 <input type="checkbox"/> TEM <input type="checkbox"/> SEM <input type="checkbox"/> EPMMA <input type="checkbox"/> その他																																																																														
9	使用試験機台数 No. of Testing Machines	II	3 3 台年 3 台年																																																																																
10	試験期間(年/月) Time Schedule (Year/Month)	II	(60/4)~(62/3) ; (/) (/) ; (60/4)~(63/3) ; (60/4)~(63/3) ; (/)~(/) ; (/)~(/)																																																																																
11	試験実施場所 Test Laboratory	II	川重 川重 川重																																																																																
12	備考 Remarks	II	川重に、クリープ試験機 25 台貸与、この中の 12 台を本試験に充当、初年度のみ 9 台疲労試験機 1 台貸与、本試験に充当																																																																																

FBR 金属材料試験計画表

FBR Metallic Materials Test Planning Sheet

No. _____

昭和 年 月 日
Date: _____

所属名 Affiliation	承認 Approved by	審査 Reviewed by	作成 Prepared by

- 提案計画 Proposed Plan
 合意した計画 Approved Plan
 完了した計画 Accomplished Plan

分類番号 No.	項目 Item	内容説明 Descriptions					
1	試験題 Subject	9 Cr系鋼の高温強度試験					
2	試験目的 Objective	Mod. 9 Cr-1 Mo鋼および9 Cr-1 MoVNb鋼に関し溶接継手部強度を評価するための基礎データを取得するとともに9 Cr系鋼の強度基準策定用データの蓄積を併せて行う。					
3	試験概要 Contents	9 Cr系鋼の2鋼種について引張試験, クリープ試験を行う。					
4	試験機 Objective Component	高速炉機器全般					
5	試験材料 Materials	材料名 Name Mod. 9 Cr-1 Mo 9 Cr-1 MoVNb	製造種別 鋼板 鋼板	寸法他 Size (thickness and others)			
6	雰囲気 Environment	<input checked="" type="checkbox"/> 大気中 In Air <input type="checkbox"/> 静止Na中 In Stagnant Sodium <input type="checkbox"/> 流動Na中 In Flowing Sodium	<input type="checkbox"/> アルゴン中 In Ar <input type="checkbox"/> 窒素中 In N ₂ <input type="checkbox"/> ヘリウム中 In He	<input type="checkbox"/> 真空中 In Vacuum <input type="checkbox"/> その他 Others			
7	試験名 Type of Test	引張試験 Tensile Test	高速引張試験 High Speed Tensile Test	クリープ試験 Creep Test	低サイクル破れ試験 Fatigue Test Creep-Fatigue Test	リラクゼーション試験 Relaxation Test	その他 Others
	パラメータ Parameter						
	材料チャージ数 No. of Material Charges	2		2			
	温度レベル数 No. of Temp. Levels	5		3			
	応力レベル数 No. of Stress Levels			5			
	ひずみ(範囲)レベル数 No. of Strain(Range) Levels						
	ひずみ速度レベル数 No. of Strain Rate Levels	1					
	保持時間数 No. of Hold Time Levels						
	反復回数 No. of Repetition	2		1			
	試験片総数 Total No. of Test Specimens	20		30			
8	試験内容 Test Parameters	<input type="checkbox"/> Fracture Test <input type="checkbox"/> Stress-Strain Curve	<input type="checkbox"/> Fracture Test <input type="checkbox"/> Stress-Strain Curve	<input type="checkbox"/> Rupture Test <input type="checkbox"/> Creep Curve <input type="checkbox"/> Internal Pressure Creep	<input type="checkbox"/> Life <input type="checkbox"/> Notched <input type="checkbox"/> Cyclic Stress-Strain Curve <input type="checkbox"/> Crack Behavior <input type="checkbox"/> Rotating Bending <input type="checkbox"/> Plane Bending	<input type="checkbox"/> Relaxation Stress <input type="checkbox"/> Relaxation Curve	<input type="checkbox"/> 単軸材料挙動 Uniaxial Material Behavior <input type="checkbox"/> 多軸材料挙動 Multiaxial Material Behavior <input type="checkbox"/> 構造物挙動試験 Structural Component Behavior Test <input type="checkbox"/> 衝撃試験 Impact Test <input type="checkbox"/> 硬さ試験 Hardness Test <input type="checkbox"/> 腐食試験 Corrosion Test <input type="checkbox"/> 光学顕微鏡観察 Optical Microscopy <input type="checkbox"/> 透過電子顕微鏡 TEM <input type="checkbox"/> 走査電子顕微鏡 SEM <input type="checkbox"/> 電子線X線分析 EDMA <input type="checkbox"/> その他 Others
		Temp. RT, 450, 500, 550, 600 Strain Rate	Temp. Strain Rate	Temp. 500, 550, 600 Stress Time 300, 1000, 3000, 6000, 12000	Temp. Strain Range Strain Rate Load Duration	Temp. Strain Time	
9	使用試験機台数 No. of Testing Machines						
10	試験期間(年/月) Time Schedule (Year/Month)	(62/4)~(65/3)	/ /	(62/4)~(65/3)	/ /	/ /	/ /
11	試験実施場所 Test Laboratory	川重		川重			
12	備考 Remarks						

FBR 金属材料試験計画表

No. _____

FBR Metallic Materials Test Planning Sheet

昭和 年 月 日
Date:

所属名 Affiliation	承認 Approved by	審査 Reviewed by	作成 Prepared by

- 提案計画 Proposed Plan
 合意した計画 Approved Plan
 完了した計画 Accomplished Plan

分類番号 No.	項目 Items	内容説明 Descriptions					
1	試験題 Subject	SUS304/9Cr系鋼異材継手の高温強度試験					
2	試験目的 Objective	実証炉を対象に9Cr系鋼を使用する場合、SUS304鋼との異材継手部が不可避となるため、異材継手に関する高温強度試験を実施し継手評価のための基礎データを蓄積する。					
3	試験内容 Contents	9Cr系の2鋼種について、SUS304鋼との異材継手を製作し、引張試験クリープ試験を行う。					
4	対象機器 Objective Component	高速炉機器全般					
5	試験材料 Materials	材料名 Name SUS304/Mod. 9Cr-1Mo SUS304/9Cr-1MoVNb		製造種別 Production Form 鋼板 鋼板		寸法他 Size (thickness and others)	
6	雰囲気 Environment	<input type="checkbox"/> 大気中 In Air <input type="checkbox"/> 静止Na中 In Stagnant Sodium <input type="checkbox"/> 流動Na中 In Flowing Sodium		<input type="checkbox"/> アルゴン中 In Ar <input type="checkbox"/> 窒素中 In N ₂ <input type="checkbox"/> ヘリウム中 In He		<input type="checkbox"/> 真空中 In Vacuum <input type="checkbox"/> その他 Others ()	
7	試験名 Type of Test	引張試験 Tensile Test	高速引張試験 High Speed Tensile Test	クリープ試験 Creep Test	低サイクル疲れ試験 Fatigue Test <input checked="" type="checkbox"/> Creep-Fatigue Test	リラクゼーション試験 Relaxation Test	その他 Others
	パラメータ Parameter						
	材料チャージ数 No. of Material Charges	4		4			
	温度レベル数 No. of Temp. Levels	3		2			
	応力レベル数 No. of Stress Levels			5			
	ひずみ(範囲)レベル数 No. of Strain(Range) Levels						
	ひずみ速度レベル数 No. of Strain Rate Levels	1					
	保持時間数 No. of Hold Time Levels						
	反復回数 No. of Repetition	2		1			
	試験片総数 Total No. of Test Specimens	24		40			
8	試験内容 Test Parameters	<input type="checkbox"/> Fracture Test <input type="checkbox"/> Stress-Strain Curve	<input type="checkbox"/> Fracture Test <input type="checkbox"/> Stress-Strain Curve	<input type="checkbox"/> Rupture Test <input type="checkbox"/> Creep Curve <input type="checkbox"/> Internal Pressure Creep	<input type="checkbox"/> Life <input type="checkbox"/> Notched <input type="checkbox"/> Cyclic Stress-Strain Curve <input type="checkbox"/> Crack Behavior <input type="checkbox"/> Rotating Bending <input type="checkbox"/> Plane Bending	<input type="checkbox"/> Relaxation Stress <input type="checkbox"/> Relaxation Curve	<input type="checkbox"/> 単軸材料挙動 Uniaxial Material Behavior <input type="checkbox"/> 多軸材料挙動 Multiaxial Material Behavior <input type="checkbox"/> 構造物挙動試験 Structural Component Behavior Test <input type="checkbox"/> 衝撃試験 Impact Test <input type="checkbox"/> 硬さ試験 Hardness Test <input type="checkbox"/> 腐食試験 Corrosion Test <input type="checkbox"/> 光学顕微鏡観察 Optical Microscopy <input type="checkbox"/> 透過電子顕微鏡 TEM <input type="checkbox"/> 走査電子顕微鏡 SEM <input type="checkbox"/> 微小部X線分析 EPMA <input type="checkbox"/> その他 Others ()
		Temp. RT, 500, 550 Strain Rate	Temp. Strain Rate	Temp. 500, 550 Stress Time 300, 1000 3000, 6000 12000	Temp. Strain Range Strain Rate Load Duration	Temp. Strain Time	
9	使用試験機台数 No. of Testing Machines						
10	試験期間(年/月) Time Schedule (Year/Month)	(62/4)~(65/3)	(/) (/)	(62/4)~(65/3)	(/)~(/)	(/)~(/)	(/)~(/)
11	試験実施場所 Test Laboratory	川重		川重			
12	備考 Remarks						