

高クロムモリブデン鋼の基本材料特性試験(V)

Mod.9Cr-1Mo鋼伝熱管相当板および伝熱管材の引張、クリープおよびリラクセーション特性

1994年6月

動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター

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)

高クロムモリブデン鋼の基本材料特性試験 (V)

Mod.9Cr-1Mo鋼伝熱管相当板および伝熱管材の引張，クリープおよびリラクセーション特性

青木昌典* 加藤章一* 小峰龍司*
吉田英一* 和田雄作*

要 旨

FBR大型炉の一体貫流型蒸気発生材料として適用が予定されているMod.9Cr-1Mo鋼の伝熱管相当板材(12mm t)ならびに伝熱管材について，高温引張試験，大気中クリープおよびリラクセーション試験を実施し，基本材料特性を把握した。また，9Cr-2Mo鋼を用いて同様な試験を行い，Mod.9Cr-1Mo鋼との比較を行った。

得られた結果を要約すると以下の通りである。

1. 引張特性

- (1) Mod.9Cr-1Mo鋼の伝熱管相当板材および伝熱管材の引張強さならびに0.2%耐力は，材料強度基準暫定値の S_u ， S_y を充分満足していた。ただし， S_u 値に関しては見直しの可能性が残っていることから，今後総合的な再評価を行う必要がある。
- (2) Mod.9Cr-1Mo鋼の伝熱管相当板材および伝熱管材の引張強さは，9Cr-2Mo鋼の平均傾向より高い値を示した。
- (3) Mod.9Cr-1Mo鋼の伝熱管相当板材と伝熱管材との比較では，引張強さ，0.2%耐力はほぼ同じであり，素材による差異は認められなかった。

2. クリープ特性

- (1) Mod.9Cr-1Mo鋼の伝熱管相当板材および伝熱管材のクリープ破断強度は，500℃～600℃での材料強度基準暫定値の設計クリープ破断応力強さ S_R と比較し，全体的に大きく上回っていた。これは特に長時間側で顕著である。
- (2) 定常クリープ速度と破断時間との関係において本試験の結果は，暫定的に定められた材料強度基準で示されている定常クリープひずみ速度 $\dot{\epsilon}_m$ と比較的良好一致を示した。
- (3) Mod.9Cr-1Mo鋼のクリープ破断強度は板材および伝熱管材とも9Cr-2Mo鋼よりも高い値を示し，Mod.9Cr-1Mo鋼が優れたクリープ特性を有していることが明らかになった。

3. リラクセーション特性

- (1) Mod.9Cr-1Mo鋼のひずみ0.1～0.5%の条件での応力は初期時から約50時間でほぼ緩和し，それ以降の応力緩和量は小さいものであった。これらの応力緩和量は高温，高ひずみ側ほど増大した。一方，9Cr-2Mo鋼は200時間経過後も徐々に応力緩和が進展しておりMod.9Cr-1Mo鋼と異なった挙動を示した。
- (2) 本試験範囲におけるリラクセーション挙動は，概ね従来のクリープひずみ式で記述できることが確認できた。

本試験の結果は，今後の材料強度基準暫定値の見直しや強度評価法の高度化の基礎データとして反映される。

* 大洗工学センター 機器構造開発部 材料開発室

Mechanical Properties on High Cr-Mo Steels at Elevated Temperature. (V)

Tensile, Creep and Relaxation Properties of Mod.9Cr-1Mo Steel Plate and Tube for Steam Generator.

M.Aoki*, S.Kato*, R.Komine*
E.Yoshida*, Y.Wada*

Abstract

In this study, tensile, creep and relaxation test in air were performed in order to examine the mechanical properties of Mod.9Cr-1Mo steel which is a candidate material for once through type steam generator of large scale fast breeder reactor. Tested materials were plate(12mmt) simulating heat exchanger tube and heat exchanger tube of Mod.9Cr-1Mo steel and 9Cr-2Mo steel was also tested as reference material.

Results obtained are summarized as follows.

1, Tensile properties

- (1)Ultimate tensile strength and 0.2% yield strength of Mod.9Cr-1Mo steels were higher than the tentative S_u and S_y values of the design allowable stress in the test temperature below 600°C.
- (2)Ultimate tensile strength of Mod.9Cr-1Mo steels plate and tube were higher than that of 9Cr-2Mo Steels.
- (3)The difference in ultimate tensile strength and 0.2%yield strength between steel plate and tube could not be found in these tests.

2, Creep properties

- (1)Creep rupture strength of Mod.9Cr-1Mo steel plate and tube was higher than the tentative S_R value of the design creep-rupture stress intensity at 500~600°C, and this tendency is significant in the range of longer rupture time.
- (2)For the relation between steady creep rate and creep rupture time, steady creep rates obtained in this study coincided well with the $\dot{\epsilon}_m$ of tentative creep strain equation.
- (3)Creep rupture strength of Mod.9Cr-1Mo steel plate and tube was higher than that of 9Cr-2Mo steel.

3, Relaxation properties

- (1)In the strain range of 0.1~0.5%, stress rapidly relaxed during the short hold time, and stress relaxation tended to be saturate beyond 50hours. These relaxation stresses became large in higher temperature and higher strain level.
- (2)Stress relaxation behavior was predicted approximately by tentative creep equation of Mod.9Cr-1Mo steel.

The analysis of these test results is continued to develop of evaluation method of material strength.

* Materials Development section, Systems and Components Division,
O-arai Engineering Center.

目 次

1. はじめに	1
2. 試験方法	2
2. 1 供試材	2
2. 2 試料採取要領および試験片形状寸法	2
2. 3 引張試験方法	2
2. 4 クリープ試験方法	2
2. 5 リラクセーション試験方法	3
3. 試験結果および検討	4
3. 1 引張特性	4
3. 1. 1 引張強度特性	4
(1) 引張強さ	4
(2) 0.2%耐力	4
3. 1. 2 引張破断延性	5
(1) 破断伸び	5
(2) 破断絞り	5
(3) 真応力-真ひずみ	5
3. 2 クリープ特性	6
3. 2. 1 クリープ破断強度	6
3. 2. 2 クリープ破断延性	6
3. 2. 3 定常クリープ速度	8
3. 2. 4 第3期クリープ開始時間	8
3. 3 リラクセーション特性	8
3. 3. 1 リラクセーション挙動	8
3. 3. 2 応力緩和量	9
4. 考察	10
4. 1 設計引張強さ (S_u) および設計降伏点 (S_y) との比較	10
4. 2 クリープ破断式との比較	10
4. 3 クリープひずみ式との比較	10
4. 4 リラクセーション挙動のクリープひずみ式による記述性について	10
5. まとめ	12
参考文献	13
Appendix	125

List of Figures

Fig. 1	Sampling Method of Tensile, Creep and Relaxation Test Specimens of 9Cr-Mo Steel Plate.	41
Fig. 2	Sampling Method of Tensile and Creep Test Specimens of 9Cr-Mo Steel Tube.	42
Fig. 3	Size and Configuration of the Specimens(1).	43
Fig. 4	Size and Configuration of the Specimens(2).	44
Fig. 5	Ultimate Tensile Strength as a Function of Test Temperature for Plate and Tube of Mod. 9Cr-1Mo and 9Cr-2Mo Steels.	45
Fig. 6	The 0.2% Yield Strength as a Function of Test Temperature for Plate and Tube of Mod. 9Cr-1Mo and 9Cr-2Mo Steels.	46
Fig. 7	Variation of Yield Ratio with Test Temperature of Mod. 9Cr-1Mo and 9Cr-2Mo Steels.	47
Fig. 8	Fracture Elongation of Mod. 9Cr-1Mo and 9Cr-2Mo steels.	48
Fig. 9	Reduction of Area at Mod. 9Cr-1Mo and 9Cr-2Mo steels.	49
Fig. 10	True Stress-Strain Curve between Room Temperature from 600°C of Mod. 9Cr-1Mo Steel.	50
Fig. 11	True Stress-Strain Curve between Room Temperature from 600°C of 9Cr-2Mo Steel.	51
Fig. 12	Creep Rupture Properties of Mod. 9Cr-1Mo Steel Plate and Tube.	52
Fig. 13	Creep Rupture Properties of 9Cr-2Mo Steel Plate and Tube.	53
Fig. 14	Comparison Between Creep Rupture and Time to Rupture for Mod. 9Cr-1Mo and 9Cr-2Mo Steel Plates.	54
Fig. 15	Comparison Between Creep Rupture and Time to Rupture for Mod. 9Cr-1Mo and 9Cr-2Mo Steel Tubes.	55
Fig. 16	Relation Between Fracture Elongation and Time to Rupture of Mod. 9Cr-1Mo Steel Plate and Tube.	56
Fig. 17	Relation Between Fracture Elongation and Time to Rupture of 9Cr-2Mo Steel Plate and Tube.	57
Fig. 18	Relation Between Fracture Elongation and Time to Rupture of Mod. 9Cr-1Mo and 9Cr-2Mo Steel Plates.	58
Fig. 19	Relation Between Fracture Elongation and Time to Rupture of Mod. 9Cr-1Mo and 9Cr-2Mo Steel Tube.	59

Fig. 20	Relation Between Reduction of Area and Time to Rupture of Mod. 9Cr-1Mo Steel Plate and Tube.	60
Fig. 21	Relation Between Reduction of Area and Time to Rupture of 9Cr-2Mo Steel plate and Tube.	61
Fig. 22	Relation Between Reduction of Area and Time to Rupture of Mod. 9Cr-1Mo and 9Cr-2Mo Steel Plate.	62
Fig. 23	Relation Between Reduction of Area and Time to Rupture of Mod. 9Cr-1Mo and 9Cr-2Mo Steel Tube.	63
Fig. 24	Comparison of Creep Curves for Mod. 9Cr-1Mo Steel Plate at Various Temperature(1).	64
Fig. 25	Comparison of Creep Curves for Mod. 9Cr-1Mo Steel Plate at Various Temperature(2).	65
Fig. 26	Comparison of Creep Curves for Mod. 9Cr-1Mo Steel Plate at 500°C. ..	66
Fig. 27	Comparison of Creep Curves for Mod. 9Cr-1Mo Steel Plate at 550°C. ..	67
Fig. 28	Comparison of Creep Curves for Mod. 9Cr-1Mo Steel Plate at 600°C. ..	68
Fig. 29	Comparison of Creep Curves for 9Cr-2Mo Steel Plate at Various Temperature(1).	69
Fig. 30	Comparison of Creep Curves for 9Cr-2Mo Steel Plate at Various Temperature(2).	70
Fig. 31	Comparison of Creep Curves for 9Cr-2Mo Steel Plate at 500°C.	71
Fig. 32	Comparison of Creep Curves for 9Cr-2Mo Steel Plate at 550°C.	72
Fig. 33	Comparison of Creep Curves for 9Cr-2Mo Steel Plate at 600°C.	73
Fig. 34	Comparison of Steady Creep Rate of Mod. 9Cr-1Mo with 9Cr-2Mo Steels.	74
Fig. 35	Relation of Steady Creep Rate with Time to Rupture for Mod. 9Cr-1Mo and 9Cr-2Mo Steels.	75
Fig. 36	Relation of Steady Creep Rate with Time to Rupture for Mod. 9Cr-1Mo Steel. (500°C)	76
Fig. 37	Relation of Steady Creep Rate with Time to Rupture for Mod. 9Cr-1Mo Steel. (550°C)	77
Fig. 38	Relation of Steady Creep Rate with Time to Rupture for Mod. 9Cr-1Mo Steel. (600°C)	78
Fig. 39	Relation of Stress with Time to Tertiary Creep for Mod. 9Cr-1Mo and 9Cr-2Mo Steels.	79

Fig. 40	Time to Tertiary Creep of Mod. 9Cr-1Mo and 9Cr-2Mo Steels.	80
Fig. 41	Comparison of Stress Relaxation Curves at 0.2% Strain of Various Test Temperature for Mod. 9Cr-1Mo Steel(1).	81
Fig. 42	Comparison of Stress Relaxation Curves at 0.2% Strain of Various Test Temperature for Mod. 9Cr-1Mo Steel(2).	82
Fig. 43	Comparison of Stress Relaxation Curves at 0.3% Strain of Various Test Temperature for Mod. 9Cr-1Mo Steel(1).	83
Fig. 44	Comparison of Stress Relaxation Curves at 0.3% Strain of Various Test Temperature for Mod. 9Cr-1Mo Steel(2).	84
Fig. 45	Comparison of Stress Relaxation Curves at 0.5% Strain of Various Test Temperature for Mod. 9Cr-1Mo Steel.	85
Fig. 46	Comparison of Stress Relaxation Curves at 500°C of Various Strain for Mod. 9Cr-1Mo Steel (1)	86
Fig. 47	Comparison of Stress Relaxation Curves at 500°C of Various Strain for Mod. 9Cr-1Mo Steel (2)	87
Fig. 48	Comparison of Stress Relaxation Curves at 550°C of Various Strain for Mod. 9Cr-1Mo Steel (1).	88
Fig. 49	Comparison of Stress Relaxation Curves at 550°C of Various Strain for Mod. 9Cr-1Mo Steel (2).	89
Fig. 50	Comparison of Stress Relaxation Curves at 600°C of Various Strain for Mod. 9Cr-1Mo Steel.	90
Fig. 51	Comparison of Stress Relaxation Curves at 0.1% Strain of Various Test Temperature for 9Cr-2Mo Steel.	91
Fig. 52	Comparison of Stress Relaxation Curves at 0.15% Strain of Various Test Temperature for 9Cr-2Mo Steel.	92
Fig. 53	Comparison of Stress Relaxation Curves at 0.2% Strain of Various Test Temperature for 9Cr-2Mo Steel (1).	93
Fig. 54	Comparison of Stress Relaxation Curves at 0.2% Strain of Various Test Temperature for 9Cr-2Mo Steel (2).	94
Fig. 55	Comparison of Stress Relaxation Curves at 0.3% Strain of Various Test Temperature for 9Cr-2Mo Steel.	95
Fig. 56	Comparison of Stress Relaxation Curves at 0.5% Strain of Various Test Temperature for 9Cr-2Mo Steel.	96

Fig. 57	Comparison of Stress Relaxation Curves at 500°C of Various Strain for 9Cr-2Mo Steel.	97
Fig. 58	Comparison of Stress Relaxation Curves at 550°C of Various Strain for 9Cr-2Mo Steel.	98
Fig. 59	Comparison of Relaxation Behavior of Mod. 9Cr-1Mo and 9Cr-2Mo Steels with Strain Range of 0.2% at 500°C(1).	99
Fig. 60	Comparison of Relaxation Behavior for Mod. 9Cr-1Mo and 9Cr-2Mo Steels with Strain Range of 0.2% at 500°C(2).	100
Fig. 61	Comparison of Relaxation Behavior for Mod. 9Cr-1Mo and 9Cr-2Mo Steels with Strain Range of 0.3% at 500°C.	101
Fig. 62	Comparison of Relaxation Behavior for Mod. 9Cr-1Mo and 9Cr-2Mo Steels with Strain Range of 0.5% at 500°C.	102
Fig. 63	Comparison of Relaxation Behavior for Mod. 9Cr-1Mo and 9Cr-2Mo Steels with Strain Range of 0.1% at 550°C.	103
Fig. 64	Comparison of Relaxation Behavior for of Mod. 9Cr-1Mo and 9Cr-2Mo Steels with Strain Range of 0.15% at 550°C.	104
Fig. 65	Comparison of Relaxation Behavior for of Mod. 9Cr-1Mo and 9Cr-2Mo Steels with Strain Range of 0.2% at 550°C(1).	105
Fig. 66	Comparison of Relaxation Behavior for Mod. 9Cr-1Mo and 9Cr-2Mo Steels with Strain Range of 0.2% at 550°C(2).	106
Fig. 67	Comparison of Relaxation Behavior for Mod. 9Cr-1Mo and 9Cr-2Mo Steels with Strain Range of 0.3% at 550°C.	107
Fig. 68	Comparison of Relaxation Behavior for Mod. 9Cr-1Mo and 9Cr-2Mo Steels with Strain Range of 0.5% at 550°C.	108
Fig. 69	Comparison of Residual Stress with Strain for Mod. 9Cr-1Mo and 9Cr-2Mo Steels.	109
Fig. 70	Relation of Minimum Stress with Strain Rate.	110
Fig. 71	Comparison of Relaxation Behavior and Creep Equation for Mod. 9Cr-1Mo with Strain Range of 0.2% at 500°C(1).	111
Fig. 72	Comparison of Relaxation Behavior and Creep Equation of Mod. 9Cr-1Mo with Strain Range of 0.2% at 500°C(2).	112
Fig. 73	Comparison of Relaxation Behavior and Creep Equation of Mod. 9Cr-1Mo with Strain Range of 0.3% at 500°C(1).	113

Fig. 74	Comparison of Relaxation Behavior and Creep Equation of Mod. 9Cr-1Mo with Strain Range of 0.3% at 500°C(2).	114
Fig. 75	Comparison of Relaxation Behavior and Creep Equation of Mod. 9Cr-1Mo with Strain Range of 0.5% at 500°C.	115
Fig. 76	Comparison of Relaxation Behavior and Creep Equation of Mod. 9Cr-1Mo with Strain Range of 0.1% at 550°C.	116
Fig. 77	Comparison of Relaxation Behavior and Creep Equation of Mod. 9Cr-1Mo with Strain Range of 0.15% at 550°C.	117
Fig. 78	Comparison of Relaxation Behavior and Creep Equation of Mod. 9Cr-1Mo with Strain Range of 0.2% at 550°C(1).	118
Fig. 79	Comparison of Relaxation Behavior and Creep Equation of Mod. 9Cr-1Mo with Strain Range of 0.2% at 550°C(2).	119
Fig. 80	Comparison of Relaxation Behavior and Creep Equation of Mod. 9Cr-1Mo with Strain Range of 0.3% at 550°C(1).	120
Fig. 81	Comparison of Relaxation Behavior and Creep Equation of Mod. 9Cr-1Mo with Strain Range of 0.3% at 550°C(2).	121
Fig. 82	Comparison of Relaxation Behavior and Creep Equation of Mod. 9Cr-1Mo with Strain Range of 0.5% at 550°C.	122
Fig. 83	Comparison of Relaxation Behavior and Creep Equation of Mod. 9Cr-1Mo with Strain Range of 0.2% at 600°C.	123
Fig. 84	Comparison of Relaxation Behavior and Creep Equation of Mod. 9Cr-1Mo with Strain Range of 0.3% at 600°C.	124

List of Tables

Table 1	Summary of Manufacturing Specification of Mod. 9Cr-1Mo Steel Plate.	15
Table 2	Manufacturing Process of Mod. 9Cr-1Mo Steel Plate.	16
Table 3	Summary of Manufacturing Specification of 9Cr-2Mo Steel Plate. ..	17
Table 4	Manufacturing Process of 9Cr-2Mo Steel Plate.	18
Table 5	Summary of Manufacturing Specification of Mod. 9Cr-1Mo Steel Tube.	19
Table 6	Manufacturing Process of Mod. 9Cr-1Mo Steel Tube.	20
Table 7	Summary of Manufacturing Specification of 9Cr-2Mo Steel Tube. ..	21
Table 8	Manufacturing Process of 9Cr-2Mo Steel Tube.	22
Table 9	Chemical Composition, Heat Treatment and Mechanical Properties of Tested Materials.	23
Table 10	Results of Tensile Test on Mod. 9Cr-1Mo Steel Plate.	24
Table 11	Results of Tensile Test on Mod. 9Cr-1Mo Steel Tube.	25
Table 12	Results of Tensile Test on 9Cr-2Mo Steel Plate.	26
Table 13	Results of Tensile Test on 9Cr-2Mo Steel Tube.	27
Table 14	Creep Test Results of Mod. 9Cr-1Mo Steel plate.	28
Table 15	Creep Test Results of Mod. 9Cr-1Mo Steel Tube.	29
Table 16	Creep Test Results of 9Cr-2Mo Steel plate.	30
Table 17	Creep Test Results of 9Cr-2Mo Steel Tube.	31
Table 18	Creep Rupture Equation	32
Table 19	Creep Strain Equation	32
Table 20	Results of Relaxation Test on Mod. 9Cr-1Mo Steel. (1)	33
Table 21	Results of Relaxation Test on Mod. 9Cr-1Mo Steel. (2)	34
Table 22	Results of Relaxation Test on Mod. 9Cr-1Mo Steel. (3)	35
Table 23	Results of Relaxation Test on Mod. 9Cr-1Mo Steel. (4)	36
Table 24	Results of Relaxation Test on 9Cr-2Mo Steel. (1)	37
Table 25	Results of Relaxation Test on 9Cr-2Mo Steel. (2)	38
Table 26	Results of Relaxation Test on 9Cr-2Mo Steel. (3)	39
Table 27	Results of Relaxation Test on 9Cr-2Mo Steel. (4)	40

1. はじめに

高速増殖原型炉「もんじゅ」以降の実証炉さらに大型炉においては、「もんじゅ」の高温構造設計方針をベースに安全性を確保しつつ、より経済性を追求した設計が行われる。構造材料に関しては高速原型炉で使用された材料が基本となるが、さらに合理的な設計を可能とする優れた材料の適用が要求されている。このような動きの中で、従来の高速炉蒸気発生器材料に代わる材料として使用温度域で耐応力腐食割れ性、耐熱応力性および高温強度に優れた特性を有している高クロムモリブデン鋼の適用が検討されてきた^{(1)~(9)}。現在までに、これらの高クロムモリブデン鋼の選定試験が行われ、Mod.9Cr-1Mo鋼が他の高クロムモリブデン鋼と比較し、優れた材料特性を有することが研究開発で明らかとなってきた。^{(10)~(18)}

このような成果を踏まえ、Mod.9Cr-1Mo鋼が実証炉の一体貫流型蒸気発生器材料としての適用が期待されており⁽¹⁹⁾、また、Mod.9Cr-1Mo鋼は国の火力発電用材料として告示化もなされた。Mod.9Cr-1Mo鋼を実機の構造材料に適用するに当たっては、高速炉としての基準化や設計用の標準データの整備を進める必要がある。このため、Mod.9Cr-1Mo鋼の基本材料特性を明らかにすることを目的に、鍛鋼品、鋼板および伝熱管材について一連の高温強度を実施してきた。既に鍛鋼品(250~280tmm)および鋼板(25t)については報告⁽²¹⁾がなされている。

本報告は、Mod.9Cr-1Mo鋼の伝熱管($\phi 31.8 \times 3.5$ mmt)および伝熱管に相当する板材(12mmt、以下「伝熱管相当板」と言う)に関するものであり、ここでは前報に引き続きMod.9Cr-1Mo鋼の高温引張特性、クリープ特性およびリラクセーション試験結果について報告する。また、比較材として9Cr-2Mo鋼を選定し、Mod.9Cr-1Mo鋼と比較検討した内容についても報告する。なお、Mod.9Cr-1Mo鋼の基準化の検討は別途本成果等を踏まえて統括的に報告される予定であり、本報告では伝熱管相当板材の長時間試験を含めた基本的な特性の検討にとどめた。

2. 試験方法

2.1 供試材

本試験に用いた供試材は、Mod.9Cr-1Mo鋼(公称呼び名:F2,F3)および比較材として9Cr-2Mo鋼(公称呼び名:H3,H4)である。試験には、伝熱管そのままでは試験片形状などの試験上の制約から試験評価が充分に行えないために、Mod.9Cr-1Mo鋼および9Cr-2Mo鋼の両鋼とも伝熱管そのものと同一仕様で製作した伝熱管相当板材(圧延鋼板:寸法1000W×1000L×12mm t)および試験片形状効果を確認するための伝熱管(寸法φ31.8×3.5 t×12000mm)を用いた。これらの製造仕様および製造フローをTable 1~8に示す。また、供試材の化学成分、熱処理条件およびミルシートの強度特性値をTable 9に示す。

2.2 試料採取要領および試験片形状寸法

Fig.1およびFig.2には、各供試材からの試験片採取要領を示す。伝熱管相当板材では試験片の平行部が供試材の主圧延方向(L)に対して平行となるように採取し、また、伝熱管に関しては伝熱管引き抜き方向と試験片平行部が平行となるように採取した。試験片の形状寸法は、伝熱管相当板材では平行部径が10mmの中実丸棒試験片であり、標点間距離(G.L)は引張とクリープ試験片が50mm、リラクゼーション試験片が100mmである。伝熱管試験片の形状は伝熱管そのままの形状を平行部幅6mmで八つはし状に加工した弧状型試験片であり、標点間距離は引張、クリープ試験片とも30mmとした。試験片の形状寸法をFig.3,4に示す。

2.3 引張試験方法

引張試験は、JIS-G-2241「金属材料引張試験方法」、JIS-Z-0567「鉄鋼材料および耐熱合金の高温引張試験方法」ならびに「FBR金属材料試験実施要領書」⁽²⁰⁾に準拠して実施した。ひずみ速度は、約0.5%以下の低ひずみ側では0.3%/min(標点間ひずみ制御)、これを超える高ひずみ側では、引張速度7.5%/min(クロスヘッド間等速制御方式)である。引張試験温度は室温から600℃までとし、約30分の均熱保持後に試験を実施した。(引張試験機の詳細仕様は、前報⁽²¹⁾参照)

2.4 クリープ試験方法

クリープ試験方法は、JIS-Z-2271「金属材料の引張クリープ試験方法」およびJIS-Z-2272「金属材料引張クリープ破断試験方法」ならびに「FBR金属材料試験実施要領書」⁽²⁰⁾に準拠して実施した。伝熱管相当板材では、試験片のクリープ変位量は標点間に取り付けた変位計の値を小型計算機を用いたリアルタイム・オンラインデータ処理装置により自動的にサンプリングした。この記録から、クリープひずみの時間変化を示すクリープひずみ曲線を作成し、「FBR金属材料試験実施要領書」に従い、最小クリープ速度および第3期クリープ開始時間等を求めた。試験温度範囲は、

500℃～600℃である。また、伝熱管材料に関しては前述の試験方法に準拠し計測項目はクリープ破断時間のみとした。(クリープ試験機の詳細仕様は、前報⁽²¹⁾参照)

2.5 リラクゼーション試験方法

リラクゼーション試験は、Mod.9Cr-1Mo鋼および9Cr-2Mo鋼についてJIS-Z-2276「金属材料の引張リラクゼーション試験方法」ならびに「FBR金属材料試験実施要領書」⁽²⁰⁾に準拠して実施した。長時間試験(約2,000時間)はレバー式リラクゼーション試験機を用い、試験温度範囲は500～600℃とした。試験は、所定の温度で約22時間均熱保持した後、送錘を移動させて試験片のひずみ量がほぼ目標近くに到達した時点で送錘を停止し、ひずみが安定してから試験を開始した。短時間試験では、油圧サーボ型疲労試験機を用いて、試験温度500～550℃の範囲で実施した。ひずみ検出には押し当て型ひずみ計を用い、試験片平行部のひずみ量を直接測定した。(試験機の詳細仕様は、前報⁽²¹⁾参照)

3. 試験結果および検討

3.1 引張特性

Mod.9Cr-1Mo鋼および9Cr-2Mo鋼の伝熱管相当板材および伝熱管材の引張試験結果をTable 10~13およびFig.5~8に示す。なお、引張試験により取得した真応力-真ひずみデータを一括してAppendixに示す。

3.1.1 引張強度特性

(1)引張強さ

Fig.5にMod.9Cr-1Mo鋼および9Cr-2Mo鋼の伝熱管相当板材と伝熱管材の各試験温度における引張強さを示す。Mod.9Cr-1Mo鋼の引張強さは、伝熱管相当板材、伝熱管材とも室温で64kg/mm²前後の値を示した。また、温度上昇にともない強度が徐々に低下傾向を示す温度依存性が認められ、その傾向は450℃以上の温度領域で顕著に認められた。引張強さに対する温度の依存性は、伝熱管材においても同様の傾向を示した。伝熱管相当板材と伝熱管材との引張強さの比較では、室温~400℃までは全体的に伝熱管材の方が1~2kg/mm²程度高い値を示しているが、450℃以上の高温側では両者ともほぼ同等であり、製品形状による有意な差は認められなかった。

9Cr-2Mo鋼の引張強さは、伝熱管相当板材、伝熱管材とも室温で引張強度が61~62kg/mm²程度の値を示し、温度依存性はMod.9Cr-1Mo鋼と同様な傾向であった。伝熱管材と伝熱管相当板材との比較では、伝熱管材の方が全体的に伝熱管相当板材よりも2~3kg/mm²程度高い値を示し、製品形状による差異が認められた。

Mod.9Cr-1Mo鋼と9Cr-2Mo鋼の鋼種間の比較では、Mod.9Cr-1Mo鋼の方が伝熱管材および伝熱管相当板材の両者とも各試験温度において9Cr-2Mo鋼よりも高い値を示した。ただし、その差は高温領域ほど小さくなる傾向を示した。

(1)0.2%耐力

Fig.6にMod.9Cr-1Mo鋼および9Cr-2Mo鋼の伝熱管相当板材と伝熱管材の各試験温度における0.2%耐力の関係を示す。Mod.9Cr-1Mo鋼伝熱管相当板材および伝熱管材の室温における0.2%耐力は50kg/mm²程度であった。また、0.2%耐力に対する温度の依存性および製品形状による傾向は上記の引張強さと同様であった。

9Cr-2Mo鋼の伝熱管相当板材および伝熱管材の室温における0.2%耐力は、43~44kg/mm²程度であり、Mod.9Cr-1Mo鋼と比較して低い値である。また、高温における0.2%耐力も全体的にMod.9Cr-1Mo鋼のそれよりも低い値であった。

また、伝熱管相当板材と伝熱管材との比較では、伝熱管材の方が各試験温度領域において2~3kg/mm²程度全体的に高い値を示した。

(3)降伏比

Fig.7に、引張強さに対する0.2耐力の比、すなわち0.2%耐力を引張強さで除した降伏比を試験温度毎に示す。降伏比は、試験温度の上昇に伴って徐々に上昇する傾向が認められた。このことは、加工硬化が温度上昇にともない相対的に低下していることを示すものであり、その比は、温度上昇にともないほぼ直線的に上昇している。ただし、伝熱管の場合、低温側では、比較的試験データのばらつきが小さいのに対して、400℃以上の高温側ではデータのばらつきが大きくなる傾向を示した。

3.1.2 引張破断延性

(1)破断伸び

Fig.8およびFig.9に破断伸びおよび破断絞りの温度依存性の関係を示す。Mod.9Cr-1Mo鋼伝熱管相当板材および伝熱管材の破断伸びは、室温～500℃までは徐々に低下し、400℃前後で極小値が観察された。これは、Vinod.K ら⁽²²⁾が実施した伝熱管相当板材の結果および著者ら⁽¹⁵⁾ならびにV.K. Sikkaら⁽²³⁾が実施した鍛鋼品にも観察され、本試験結果と一致する。400℃以上の温度領域になると、試験温度の上昇とともに破断伸びが大きくなる傾向が認められた。Mod.9Cr-1Mo鋼の破断伸びは室温で25%、600℃では35%前後の値を示した。これらは伝熱管材および伝熱管相当板材と同様であった。9Cr-2Mo鋼の伝熱管相当板材および伝熱管材の破断伸びは、Mod.9Cr-1Mo鋼と同様の傾向であるが、400℃までは伝熱管相当板材の方が伝熱管材よりも数%高い値を示していた。

Mod.9Cr-1Mo鋼と9Cr-2Mo鋼の比較では、400℃までは9Cr-2Mo鋼の方がMod.9Cr-1Mo鋼よりも伝熱管相当板材および伝熱管材とも全体的に2～3kg/mm²程度大きい値を示した。それ以上の温度領域では、ほぼ同等の値であった。

(2)破断絞り

Mod.9Cr-1Mo鋼の破断絞りは、伝熱管相当板材および伝熱管材とも室温から450℃程度までは大きな変化が認められず、70～80%前後の値を示した。それ以上の高温領域では温度上昇にともない急激な破断絞りの上昇が認められた。伝熱管相当板材と伝熱管材との比較では、550℃以上では伝熱管相当板材の絞り値が高くなる傾向が認められたが、その程度は僅かなものであった。それ以下の温度領域では有意な差は認められなかった。

9Cr-2Mo鋼の伝熱管相当板材および伝熱管材の破断絞りは、室温から500℃前後までは約80%程度の値となり、それ以上の高温領域ではMod.9Cr-1Mo鋼と同様に温度上昇にともない絞り値が急激な上昇を示した。9Cr-2Mo鋼の伝熱管相当板材と伝熱管材との比較では、伝熱管相当板材が全体的に高い値を示したが、その差は小さなものであった。

Mod.9Cr-1Mo鋼と9Cr-2Mo鋼の破断絞りの比較では、伝熱管相当板材および伝熱管材とも500℃までは9Cr-2Mo鋼の方がMod.9Cr-1Mo鋼よりも全体的に高い値を示した。しかし、これ以上の高温領域になると両者の差はほとんどなく、同等であった。

(3)真応力-真ひずみ

Fig.10およびFig.11にMod.9Cr-1Mo鋼と9Cr-2Mo鋼の真応力-真ひずみ曲線の関係を示す。両鋼とも真応力値が試験温度上昇と共に小さくなる傾向が認められた。真ひずみに対する真応力値の増加

は温度上昇と共に緩やかになり、加工硬化が小さくなる傾向が認められた。Mod.9Cr-1Mo鋼と9Cr-2Mo鋼の比較では、9Cr-2Mo鋼の方が真応力値は小さく変形抵抗が小さいことがわかる。

3.2 クリープ特性

Mod.9Cr-1Mo鋼および9Cr-2Mo鋼の伝熱管相当板材と伝熱管材料のクリープ試験結果を一括してTable14～17示す。

3.2.1 クリープ破断強度

Fig.12にMod.9Cr-1Mo鋼の伝熱管相当板材および伝熱管材の各試験温度における応力とクリープ破断時間との関係を示す。本試験範囲における伝熱管相当板材と伝熱管材との比較では、伝熱管材のクリープ破断強度は全体的に伝熱管相当板材よりもわずかに低くなる傾向が認められた。この傾向は著者ら⁽¹⁸⁾が行った試験におけるデータのばらつき範囲に充分包括されることから、これらの差異はヒート間のばらつきと推察されるが、今後、長時間側のデータを含めた総合的な評価を行うことが必要と考えられる。

Fig.13に9Cr-2Mo鋼の伝熱管相当板材および伝熱管材の各試験温度における応力とクリープ破断時間の関係を示す。9Cr-2Mo鋼の場合は上記のMod.9Cr-1Mo鋼とは異なり、伝熱管材のクリープ破断強度は伝熱管相当板材よりもわずかに高い傾向を示した。しかし、その程度は工学的に小さく、Mod.9Cr-1Mo鋼と同様にヒート間の影響と考えられる。

Fig.14および15にMod.9Cr-1Mo鋼と9Cr-2Mo鋼のクリープ破断強度を比較して示す。伝熱管相当板および伝熱管材とも、Mod.9Cr-1Mo鋼は9Cr-2Mo鋼と比較して、高いクリープ破断強度を示し、その傾向は試験温度が高く、かつ長時間破断になるほど顕著に認められた。本試験に用いた9Cr-2Mo鋼は、溶接性の向上の観点から δ フェライトを含むマルテンサイトの二相組織⁽¹²⁾を呈している。朝倉ら⁽⁸⁾はMo添加量が多いほど短時間でフェライト中に Fe_2Mo の金属間化合物(Laves相)が析出することを報告しており、寺西ら⁽⁵⁾は9Cr-2Mo鋼中に析出する Fe_2Mo 金属間化合物(Laves相)がクリープ強度の低下を招くことを指摘している。本試験で9Cr-2Mo鋼のクリープ破断強度がMod.9Cr-1Mo鋼よりも劣っている一因としては寺西らが示唆するように、 Fe_2Mo 金属間化合物の析出、促進によるものと推察される。ただし、今回直接観察して評価はしていない。

3.2.2 クリープ破断延性

(1) クリープ破断伸び

Fig.16～19にMod.9Cr-1Mo鋼および9Cr-2Mo鋼の破断時間とクリープ破断伸びの関係を示す。Mod.9Cr-1Mo鋼伝熱管相当板材の破断伸びはFig.16に示したように約20～35%であり、試験温度の違いによる有意な差は認められなかった。破断伸びは、破断時間が長くなるにしたがい小さくなる傾向が各試験温度で認められた。伝熱管材のクリープ破断伸びは18～32%程度であり、同一試験温度での伝熱管相当板材のそれらと比較して小さくなる傾向が認められた。

Fig.17に9Cr-2Mo鋼の伝熱管相当板材と伝熱管材のクリープ破断伸びの関係を示す。伝熱管相当板

材および伝熱管材では500℃を除くと、クリープ破断時間が長くなるに従いクリープ破断伸びも小さくなる傾向が全体的に認められた。また、伝熱管相当板材の場合では、550℃および600℃では40%以上の高い破断伸びを示したが、500℃ではそれ以上となり破断伸びに対する温度の影響が認められた。

Fig. 18にMod. 9Cr-1Mo鋼と9Cr-2Mo鋼の伝熱管相当板材についてクリープ破断伸びの比較を示す。Mod. 9Cr-1Mo鋼の破断伸びは試験温度によらず、概ね20~30%の範囲内でありであり、9Cr-2Mo鋼よりも全体的に小さな値を示した。これはFig. 19に示したように両鋼の伝熱管材の破断伸びの比較においても同様であった。また、9Cr-2Mo鋼の方がMod. 9Cr-1Mo鋼よりも試験温度による破断伸びによる影響が顕著に認められた。9Cr-2Mo鋼が破断延性に富む材料であることは、著者らが行った鍛鋼品のクリープ試験⁽¹⁷⁾においても同様である。

(2) クリープ破断絞り

Fig. 20にMod. 9Cr-1Mo鋼の伝熱管相当板材と伝熱管材のクリープ破断絞りを比較して示す。伝熱管相当板材のクリープ破断絞りは全体的に80~92%程度であった。ただし、500℃の結果を除くと、破断時間が長くなるほどクリープ破断絞りはわずかながら小さくなる傾向が認められた。伝熱管材では、クリープ破断絞りは、伝熱管相当板よりも全体的に低めの値(65~85%程度)となり、かつ600℃の5000hr以上の長時間破断では著しい破断絞りの低下が認められた。これは、破断伸びの傾向と対応している。

同様にFig. 21に9Cr-2Mo鋼の伝熱管相当板材と伝熱管材のクリープ破断絞りと破断時間の関係を示す。伝熱管相当板材の破断絞りは85~95%程度であり、顕著な時間依存性および温度依存性は認められなかった。伝熱管材では、75~93%程度のクリープ破断絞り値を示した。また明瞭な時間の依存性は認められなかったが、クリープ破断絞り値は、試験温度が高くなるにつれてわずかながら小さくなる傾向を示した。伝熱管相当板材と伝熱管材の比較では、各試験温度において伝熱管相当板材が高い値を示した。

Fig. 22に伝熱管相当板材についてMod. 9Cr-1Mo鋼と9Cr-2Mo鋼のクリープ破断絞りと破断時間の関係を示す。両鋼の比較では、全体的に9Cr-2Mo鋼がMod. 9Cr-1Mo鋼よりも高い値を示している。このことはFig. 23に示したように伝熱管材においても同様である。Laves相が強度を低下させるという推察は、延性から判断するとあまり適当ではない。直接観察して正確な評価をする必要がある。なお、Mod. 9Cr-1Mo鋼伝熱管の600℃の試験において絞りが極端に小さいものが観察された。これは、伝熱管の試験片がFig. 3に示したように薄肉細管の伝熱管材そのままを試験片形状に加工しているため湾曲した部分の寸法計測誤差が大きく表れたものと考えられた。

(3) クリープ曲線

Fig. 24~33にMod. 9Cr-1Mo鋼および9Cr-2Mo鋼の代表的なクリープひずみ曲線を比較して示す。Fig. 24および29には各々の500~600℃の比較的短時間の結果を、Fig. 25および30に長時間側のクリープ曲線を示す。またFig. 26~28およびFig. 31~33にはMod. 9Cr-1Mo鋼、9Cr-2Mo鋼の各々の破断時

間が異なるクリープ曲線を比較して示す。Mod.9Cr-1Mo鋼と9Cr-2Mo鋼の比較において、全体的に9Cr-2Mo鋼が第3期クリープ開始時間以降の伸びが大きな傾向を示しているが、B.J CANEら⁽⁹⁾は、破断延性におよぼす影響因子の一つとして結晶粒の大きさによることを報告している。本試験でのMod.9Cr-1Mo鋼と9Cr-2Mo鋼の結晶粒の違いからこのような傾向を示すものと考えられるが、主要因はMo添加量の違いによるものとも推察され、現時点では、延性の相違の原因は明らかにできていない。

3.2.3 定常クリープ速度

Fig.34に応力と定常クリープ速度の関係を、Fig.35~38に定常クリープ速度と破断時間の関係をMod.9Cr-1Mo鋼および9Cr-2Mo鋼について示す。Mod.9Cr-1Mo鋼と9Cr-2Mo鋼の比較では、Mod.9Cr-1Mo鋼の方が同一応力の9Cr-2Mo鋼よりも定常クリープ速度が遅く、各試験温度においても同様の傾向となった。また、定常クリープ速度と破断時間の関係でもMod.9Cr-1Mo鋼と9Cr-2Mo鋼を比較するとMod.9Cr-1Mo鋼の定常クリープ速度が小さい結果となった。

3.2.4 第3期クリープ開始時間

Fig.39にMod.9Cr-1Mo鋼と9Cr-2Mo鋼の伝熱管相当板材における応力と第3期クリープ開始時間の関係を示す。同一応力条件下では、Mod.9Cr-1Mo鋼よりも9Cr-2Mo鋼の方が第3期クリープ開始時間が早くなる傾向が認められた。

Fig.40にMod.9Cr-1Mo鋼と9Cr-2Mo鋼の伝熱管相当板材における第3期クリープ開始時間と破断時間の関係を示す。両鋼種ともにほぼ同一直線で表すことができた。第3期クリープ開始時間は同一応力のクリープ破断時間により評価できることが確かめられた。

3.3 リラクセーション特性

3.3.1 リラクセーション挙動

Mod.9Cr-1Mo鋼および9Cr-2Mo鋼のリラクセーション試験結果をTable 16~19およびFig.31~60に示す。Mod.9Cr-1Mo鋼および9Cr-2Mo鋼の各ひずみの応力緩和挙動の緩和応力(σ_r)は数時間の初期時において著しく変化し、その後は徐々に低下する傾向が認められている。この σ_r の低下は、2,000時間経過後も極わずかながら認められた。Fig.41~58の試験結果において、初期時に応力が一部上昇する傾向が認められたが、これは当該試験機の計測制御誤差と考えられる。このことに関して、北尾ら⁽²⁵⁾および丸山⁽²⁶⁾らは、2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo鋼およびSUS304におけるリラクセーション試験から試験開始直前に荷重制御保持を行うことがひずみ偏差を抑えることに対して有効であることを指摘している。本試験も短時間の荷重制御保持の考え方を充ちし試験を実施しているが、本試験では上記のような応力緩和挙動が認められた。

次にFig.59~68に同一条件におけるMod.9Cr-1Mo鋼と9Cr-2Mo鋼の応力緩和挙動を比較を示す。両鋼の応力挙動は、時間と共に徐々に緩和される傾向が認められるが、その応力緩和量は9Cr-2Mo鋼の方がMod.9Cr-1Mo鋼より大きくなる傾向がみられた。この傾向は試験温度が低い方で顕著に認められた。これはクリープ試験における9Cr-2Mo鋼の定常クリープ速度が速いことと符合する。すなわち、9Cr-2Mo鋼はクリープ変形抵抗がMod.9Cr-1Mo鋼と比較して小さい材料であるためである。

3.3.2 応力緩和量

Fig.69に初期応力 σ_1 に対する200時間および2000時間経過後当該応力 σ_2 の差とひずみとの関係を示す。応力緩和量は設定ひずみが大きくなるほど、試験温度が高くなるほど大きい値を示した。また、応力緩和量はひずみ量0.2~0.3%を境に低下する傾向が認められた。これらは鋼種によらず同様の傾向であるがMod.9Cr-1Mo鋼の応力緩和量は、同一温度、同一ひずみの9Cr-2Mo鋼よりも小さく、緩和しにくい傾向が認められた。Fig.70に200および2,000時間におけるひずみと応力の関係を示す。両鋼とも試験温度が高くなるに従い応力緩和量が大きくなる傾向が認められ、その傾向は、Mod.9Cr-1Mo鋼と比較して大きい傾向を示した。

4. 考察

ここでは、実機適用が予定されているMod. 9Cr-1Mo鋼について現行の材料強度基準暫定値⁽¹⁴⁾との比較検討を行うとともに、その妥当性について考察する。

4.1 設計引張強さ (S_u) および設計降伏点 (S_y) との比較

Mod. 9Cr-1Mo鋼の伝熱管相当板材および伝熱管材の引張強さは、Fig. 5に示した如く、各試験温度とも基準値の設計引張強さ (S_u) 値⁽¹⁴⁾を充分満足しており、特に低温側で大きく上回っていた。引張強さでは300~400℃の試験温度範囲で、比較的暫定値と近い値を示した。450℃以上では全体として約5 kg/mm²と高い値となった。これらは板材⁽²¹⁾にも同様に観察された。

0.2%耐力では、Fig. 6に示したように各試験温度領域においても設計降伏点 (S_y) 値⁽¹⁴⁾を充分満足していた。特に低温側でその差は大きいものの、600℃での結果では S_y と比較的近い値となった。

これらの結果から、現行材料強度基準暫定案の S_u 、 S_y 値について当面見直しは必要ないと考えられる。

4.2 クリープ破断式との比較

Fig. 12、14~15に応力と破断時間の関係をMod. 9Cr-1Mo鋼について「材料強度基準暫定値」⁽¹⁴⁾の設計クリープ破断強さ S_R および平均クリープ破断強さ ($\alpha_R=1$) の値 (Table 18参照) を比較して示す。本試験で得られたクリープ破断強度は、伝熱管相当板材および伝熱管材とも各試験温度において S_R 値を充分満足していた。また平均クリープ破断曲線との比較では、高温、長時間を含めて平均傾向線と比較的良好な一致を示した。

これらの結果から材料強度基準暫定案の設計クリープ破断強さ (S_R) に関してさらに長時間側の試験結果が出るまでは、当面総合的な見直しを行う必要はないと考えられる。

4.3 クリープひずみ式との比較

Fig. 35~38にMod. 9Cr-1Mo鋼の基準値のベースとなったクリープひずみ式 (Table 19参照)⁽²⁸⁾から求めた定常クリープの平均傾向 ($\alpha_c=1$) と、定常クリープ速度のばらつきを示す $\alpha_c=3$ および $\alpha_c=3.0$ を破線で示した。500℃の試験結果では、わずかながら長時間側の定常クリープ速度が速い傾向を示しているものの、時間係数ファクター3以内に充分包括されていた。550℃での比較では、長時間側の定常クリープ速度がわずかながら小さい結果となっているが、ほぼクリープひずみ式と一致する。さらに600℃での比較では550℃での結果と同様に長時間側での結果が定常クリープ速度が小さい結果となっているが概ねクリープ記述式で表すことができる。本試験で得られた結果は、ばらつきを示す $\alpha_c=3$ および $\alpha_c=3.0$ の範囲で整理することができ、これによって現行材料強度暫定基準案が想定しているばらつき範囲に充分入る事が確認できた。

4.4 リラクゼーションによるクリープひずみ式による記述性について

Fig. 71~84に本実験値とクリープひずみ挙動のばらつき評価法⁽²⁸⁾として川崎ら⁽²⁹⁾が設計緩和

応力 S_r の策定に用いたクリープひずみ式中の時間係数 $\alpha_c=3$ を適用し、 $\alpha_c=3$ と $\alpha_c=4$ によってクリープひずみ挙動のばらつきを定め、これに従い応力緩和挙動のばらつき範囲を算定し、図中に示した。ただし、ここでは応力緩和開始応力のばらつきは考慮していない。これらの試験結果は、初期値の応力挙動と一部データを除いて概ねファクター3の範囲内、またはそれ以下のレベルにあることから、クリープ曲線のばらつきで概ねリラクセーション挙動のばらつきを評価できる結果となった。また、今回は代表1ヒートだけのばらつきを議論しているため、複数ヒートのばらつき評価を今後、実施する必要がある。

本試験で得られたこれらの試験結果は、現在予定されている材料強度基準の見直しおよび長時間側外挿性確認のための重要なデータとして反映される。

5. まとめ

FBR大型炉の一体貫流型蒸気発生器材料として適用が予定されているMod.9Cr-1Mo鋼について、伝熱管相当板ならびに伝熱管の基本材料特性を明かにするために、高温引張試験、クリープ試験およびリラクセーション試験を実施した。比較材料には、9Cr-2Mo鋼を用い同様の試験を実施した。得られた結果については、Mod.9Cr-1Mo鋼が実機に適用されることを考慮し、材料強度基準暫定案との比較検討を行い、その妥当性を検討した。また、クリープ挙動評価に関してはクリープ破断式ならびにクリープひずみ式の記述性についても言及した。

得られた結果を要約すると以下の通りである。

1. 引張特性

- (1) Mod.9Cr-1Mo鋼受入材の引張強さならびに0.2%耐力は、室温から600℃の範囲において現行の材料強度基準暫定値の S_u 、 S_y を充分満足するものであった。
- (2) Mod.9Cr-1Mo鋼の伝熱管相当板材と伝熱管材との比較では、若干のばらつきはあるものの引張強さ、0.2%耐力は同等であり、製品形状の有意な差は認められなかった。
- (3) Mod.9Cr-1Mo鋼の引張強さは、本試験で実施した室温～600℃の温度範囲において9Cr-2Mo鋼の平均傾向よりも高い値を示した。

2. クリープ特性

- (1) Mod.9Cr-1Mo鋼の伝熱管相当板材および伝熱管材のクリープ破断強度は、500℃～600℃において現行材料強度基準暫定値の設計クリープ破断応力強さ S_R 値を全体的に大きく上回っていた。
- (2) Mod.9Cr-1Mo鋼のクリープ破断強度は板材および伝熱管材とも9Cr-2Mo鋼よりも高い値を示し、Mod.9Cr-1Mo鋼が優れたクリープ特性を有していることが明らかになった。また、Mod.9Cr-1Mo鋼の板材と伝熱管材料との比較では、クリープ強度に有意な差異は認められなかった。
- (3) Mod.9Cr-1Mo鋼の定常クリープ速度と破断時間との関係において、本試験の結果は、現行の材料強度基準暫定案で示される定常クリープひずみ速度 $\dot{\epsilon}_m$ と比較的良好一致を示した。

3. リラクセーション特性

- (1) Mod.9Cr-1Mo鋼のひずみ0.1～0.5%の条件での応力は初期時の約50時間で急激に緩和され、それ以降の応力緩和量は小さいものであった。これは、200時間経過後も徐々に応力緩和が進展する9Cr-2Mo鋼と異なった挙動を示した。
- (2) 本試験範囲におけるリラクセーション挙動は、概ね従来のクリープひずみ式で記述できることが確認できた。

以上、本試験結果から、Mod.9Cr-1Mo鋼の伝熱管相当板材および伝熱管の引張、クリープおよびリラクセーションの基本材料特性が当初想定した値を満足することが示され、今後Mod.9Cr-1Mo鋼を実機に適用するための設計用の基礎的データとして取りまとめることができた。

終わりに、本研究を実施するに当たって試験の実施、データ整理に際して材料開発室常駐の常陽産業職員 川島成一、佐藤勝美、鈴木高一、小林祐勝、清宮和平ならびに矢口勝己各氏の協力を得たことを記す。

参考文献

- (1) 馬場 「高速炉構造材料に関する調査研究」：火力原子力発電 Vol.36 No.1(1985)
- (2) 大黒, 増山, 藤村ら「超々臨海圧用加熱器材料の選定と評価」：三菱重工技報 Vol.22 No.3(1985)
- (3) G.Gunz, F.Pellicani, J.Houis, and B.Duquaire, "Int.Conf.Ferritic Steels For Fast Reactor Steam Generator" (1978) Vol.1977 No.1 P164-170
- (4) R.E.McDonald, J.H.Smith "Fabrication, Evaluation, and Inspection of Cold-Reduced and Cold-Drawn Tubes of Modified 9Cr-1Mo Steel"(1982) US DOE Rep. No.ORNL-TM-8009 p49
- (5) 寺西、吉川、永田 「高Crフェライト系耐熱鋼の高速増殖炉への適用」：住友金属技報 (1988) Vol.40 No.4 P443-452
- (6) 藤田ら「超超臨界圧プラント用高Crフェライト鋼の開発」鉄と鋼 第76年(1990)第7号
- (7) 土井ら「改良9Cr-1Moの機械的性質に及ぼすSiの影響」CAMP-ISIJ Vol.3 (1990)-835
- (8) 朝倉ら「フェライト鋼の高温強度と靱性」原子力学会誌 Vol.28 No.3 (1986)
- (9) B.J.CANE and R.S.FIDLER "The Effect of Microstructure and Grain Size of the Creep and rupture properties of 2 $\frac{1}{2}$ Cr-Mo and 9Cr-1Mo steels."BNES,London, 293-299 (1978)
- (10) 二瓶ら「高速増殖炉用構造材料における高クロムモリブデン鋼の適用」原子力工業 第33巻第3号(1987)
- (11) 二瓶ら「高速増殖炉の開発・実用化と材料」日本鉄鋼協会"西山記念技術講座(第133)(1990)
- (12) 丸山、伊藤、青木ら「高クロムモリブデン鋼もナトリウム中材料試験(II)：PNC SN9410 89-133(1989)
- (13) 伊藤、和田、加藤、青木ら「高クロムモリブデン鋼のナトリウム中材料試験(I)」：PNC SN 9410 87 184(1989)
- (14) 青砥ら「高速炉用高温構造設計基準、材料強度基準等」-高度化案-PNC SN9410 89-086 (1989)
- (15) 青木、加藤、吉田ら「高クロムモリブデン鋼基本材料特性試験」(I) PNC SN 9410 90-122(1990)
- (16) 青木、加藤、吉田ら「高クロムモリブデン鋼基本材料特性試験」(II) PNC PN 9410 90-142(1990)
- (17) 青木、加藤、吉田ら「高クロムモリブデン鋼基本材料特性試験」(III) PNC SN 9410 91-099(1991)
- (18) 青木ら「材料特性データ集-Mod.9Cr-1Mo鋼のクリープ特性-(母材)-」 PNC SN 9450 91-010 (1991)
- (19) 和田「高速増殖炉研究開発成果報告会-講演要旨-」PNC TN 410 92-012(1992)
- (20) 「FBR金属材料試験実施要領書」(改訂版) PNC N241 79-32 (1979)

- (21) 青木、加藤、小峰「高クロムモリブデン鋼基本材料特性試験」(IV) PNC ZN 9410 92-179 (1992)
- (22) Viond.K, "Fabrication and Metallurgical Properties Modified 9Cr-1Mo Steel" Oak Ridge National Laboratory DE85' 012885 (1985)
- (23) V.K Sikka, "Modified 9Cr-1Mo Steel -An Improved Alloy for Steam Generator Application." American Society for Metals(1983)
- (24) 行俊、吉川ら「9Cr-2Mo鋼の高速増殖炉蒸気発生器管への適用」鉄と鋼 第65年 第7号 (1979)
- (25) 北尾ら「SUS304のリラクゼーション特性 (IV)」 PNC SN941 83-29(1983)
- (26) 丸山ら「SUS304、2+Cr-1Mo鋼およびSUS321の大気中クリープ試験および大気中リラクゼーション試験」PNC SN9410 88-176 (1988)
- (27) 北尾ら「高温ナトリウム中におけるSUS304鋼のクリープ特性」PNC SN941 84-80 (1984)
- (28) 高速増殖炉高温構造設計基準材料強度基準等の高度化に関する検討報告 (I) PNC SN9410 88-105 (1988)
- (29) Hirotsugu KAWASAKI, Kazumi AOTO, Yusaku WADA "Analytical Represent of Creep Properties of Mod.9Cr-1Mo Steel. SMIRT11 Transitions Vol.L (August 1991)

Table.1 Summary of manufacturing specification of Mod.9Cr-1Mo steel Plate.

項 目	内 容																																			
適用規格	1. 通産省告示501号「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準を定める告示」第一種容器に係わる事項。(準拠) 2. JIS G 4109-1977 「ボイラーおよび圧力容器用高クロムモリブデン鋼鋼板」準用																																			
製 造	1. 溶製：電気炉で溶解後、エレクトロスラグ再溶解(ESR)等の精錬 2. 圧延：熱間圧延ロール鋼板 3. 熱処理：焼き入れ 1050℃×0.83hr A.C 焼き戻し 780℃×1.00hr A.C																																			
購入仕様	1. 化学成分 (wt%)																																			
	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">成 分</th> <th>C</th> <th>Si</th> <th>Mn</th> <th>P</th> <th>S</th> <th>Ni</th> <th>Cr</th> <th>Mo</th> </tr> <tr> <th colspan="3">x100</th> <th colspan="2">x1000</th> <th colspan="3">x100</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>レードル</td> <td>8~12</td> <td>20~50</td> <td>30~60</td> <td>≦20</td> <td>≦10</td> <td>≦40</td> <td>800~950</td> <td>85~105</td> </tr> <tr> <td>チェック</td> <td>8~12</td> <td>20~50</td> <td>30~60</td> <td>≦20</td> <td>≦10</td> <td>≦40</td> <td>800~950</td> <td>85~105</td> </tr> </tbody> </table>	成 分	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	x100			x1000		x100			レードル	8~12	20~50	30~60	≦20	≦10	≦40	800~950	85~105	チェック	8~12	20~50	30~60	≦20	≦10	≦40	800~950	85~105
	成 分		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo																										
		x100			x1000		x100																													
	レードル	8~12	20~50	30~60	≦20	≦10	≦40	800~950	85~105																											
チェック	8~12	20~50	30~60	≦20	≦10	≦40	800~950	85~105																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th>V</th> <th>Nb</th> <th>Al</th> <th>N</th> </tr> <tr> <th>x1000</th> <th>x100</th> <th colspan="2">x1000</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>レードル</td> <td>18~25</td> <td>6~10</td> <td>≦40</td> <td>30~70</td> </tr> <tr> <td>チェック</td> <td>18~25</td> <td>6~10</td> <td>≦40</td> <td>30~70</td> </tr> </tbody> </table>		V	Nb	Al	N	x1000	x100	x1000		レードル	18~25	6~10	≦40	30~70	チェック	18~25	6~10	≦40	30~70																	
		V	Nb	Al	N																															
	x1000	x100	x1000																																	
レードル	18~25	6~10	≦40	30~70																																
チェック	18~25	6~10	≦40	30~70																																
2. 機械的性質	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">引張試験</th> </tr> <tr> <th>0.2%耐力 kg/mm²</th> <th>引張強さ kg/mm²</th> <th>伸び %</th> <th>絞り %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>≧42.2</td> <td>≧60</td> <td>≧20</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>	引張試験				0.2%耐力 kg/mm ²	引張強さ kg/mm ²	伸び %	絞り %	≧42.2	≧60	≧20	-																							
引張試験																																				
0.2%耐力 kg/mm ²	引張強さ kg/mm ²	伸び %	絞り %																																	
≧42.2	≧60	≧20	-																																	
3. 形状寸法	厚さ 12mm, 幅 1,000mm, 長さ 1000mm																																			
試験および 検査方法	1. とりべ分析：JIS G 0321 2. 製品分析：JIS G 0321 3. 引張試験：JIS Z 2241 4. 超音波探傷試験：通産省告示第501号2章第6条 垂直法 5. 非金属介在物：JIS G 0555 6. 結晶粒度：JIS G 0551 (酸化法) 7. 液体浸透探傷試験：通産省告示第501号2章第11条 8. 寸法検査：JIS B 0405																																			

Table.2 Manufacturing Process of Mod.9Cr-1Mo Steel Plate.

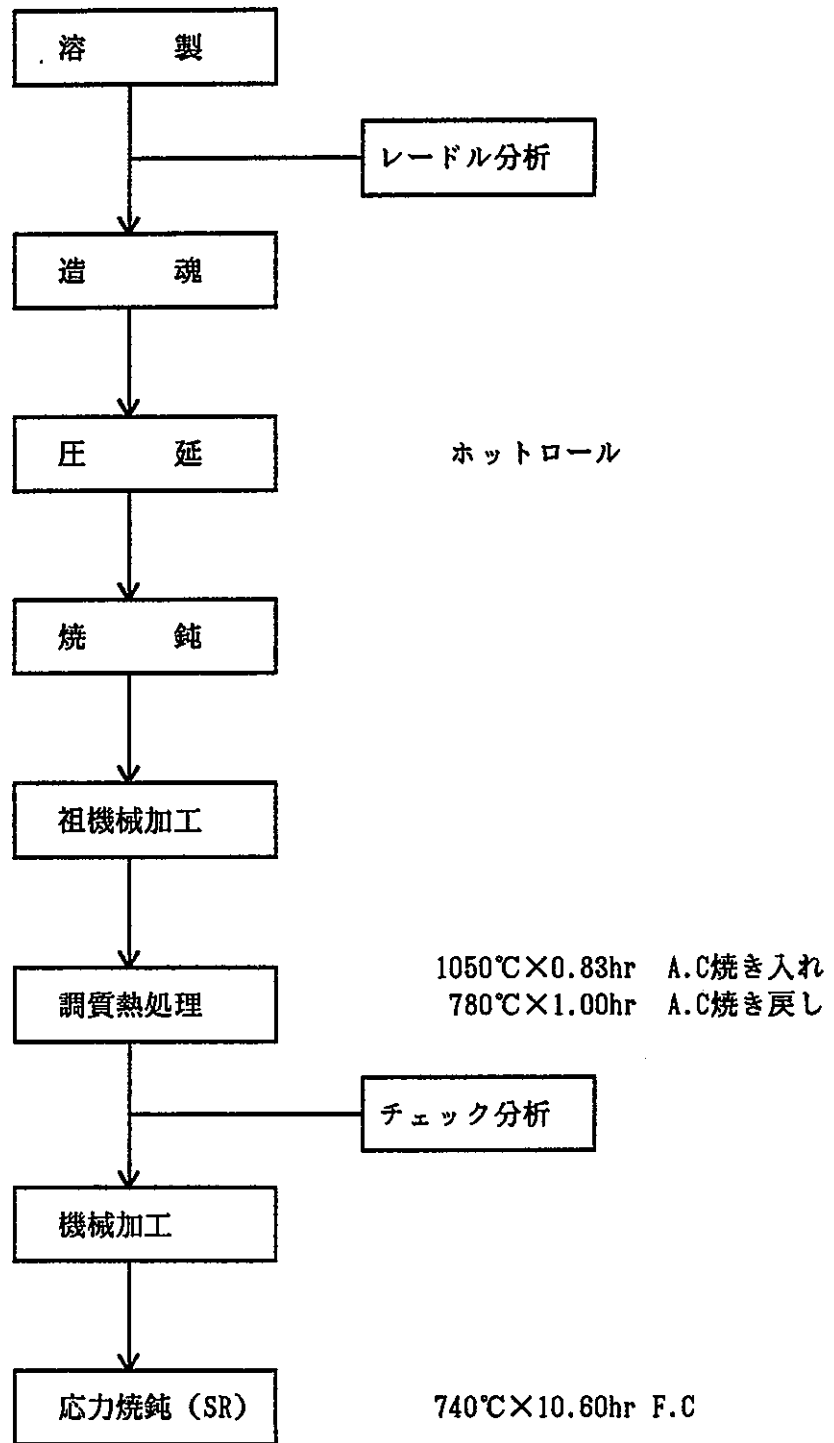


Table.3 Summary of manufacturing specification of 9Cr-2Mo steel Plate.

項 目	内 容																																			
適用規格	1. 通産省告示501号「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準を定める告示」第一種容器に係わる事項。(準拠) 2. JIS G 4109-1977 「ボイラーおよび圧力容器用高クロムモリブデン鋼鋼板」準用																																			
製 造	1. 溶製：電気炉で溶解後、エレクトロスラグ再溶解(ESR)等の精錬 2. 圧延：熱間圧延ロール鋼板 3. 熱処理：焼き入れ 950℃×0.83hr A.C 焼き戻し 770℃×1.00hr A.C																																			
購入仕様	1. 化学成分 (wt%)																																			
	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">成 分</th> <th>C</th> <th>Si</th> <th>Mn</th> <th>P</th> <th>S</th> <th>Ni</th> <th>Cr</th> <th>Mo</th> </tr> <tr> <th colspan="3">x100</th> <th colspan="2">x1000</th> <th colspan="3">x100</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>レードル</td> <td>≦8</td> <td>≦8</td> <td>30~60</td> <td>≦</td> <td>≦</td> <td>*</td> <td>800~1000</td> <td>180~220</td> </tr> <tr> <td>チェック</td> <td>≦8</td> <td>≦8</td> <td>30~60</td> <td>≦</td> <td>≦</td> <td>*</td> <td>800~1000</td> <td>180~220</td> </tr> </tbody> </table>	成 分	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	x100			x1000		x100			レードル	≦8	≦8	30~60	≦	≦	*	800~1000	180~220	チェック	≦8	≦8	30~60	≦	≦	*	800~1000	180~220
	成 分		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo																										
		x100			x1000		x100																													
	レードル	≦8	≦8	30~60	≦	≦	*	800~1000	180~220																											
	チェック	≦8	≦8	30~60	≦	≦	*	800~1000	180~220																											
	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th>V</th> <th>Nb</th> <th>Al</th> <th>N</th> </tr> <tr> <th>x1000</th> <th>x100</th> <th colspan="2">x1000</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>レードル</td> <td>*</td> <td>*</td> <td>*</td> <td>*</td> </tr> <tr> <td>チェック</td> <td>*</td> <td>*</td> <td>*</td> <td>*</td> </tr> </tbody> </table>		V	Nb	Al	N	x1000	x100	x1000		レードル	*	*	*	*	チェック	*	*	*	*																
	V		Nb	Al	N																															
	x1000	x100	x1000																																	
レードル	*	*	*	*																																
チェック	*	*	*	*																																
	*印は数値報告																																			
	2. 機械的性質																																			
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">引張試験</th> </tr> <tr> <th>0.2%耐力 kg/mm²</th> <th>引張強さ kg/mm²</th> <th>伸び %</th> <th>絞り %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>≧30</td> <td>≧52</td> <td>≧25</td> <td>*</td> </tr> </tbody> </table>	引張試験				0.2%耐力 kg/mm ²	引張強さ kg/mm ²	伸び %	絞り %	≧30	≧52	≧25	*																							
引張試験																																				
0.2%耐力 kg/mm ²	引張強さ kg/mm ²	伸び %	絞り %																																	
≧30	≧52	≧25	*																																	
	3. 形状寸法 厚さ 12mm, 幅 1,000mm, 長さ 1000mm																																			
試験および 検査方法	1. とりべ分析：JIS G 0321 2. 製品分析：JIS G 0321 3. 引張試験：JIS Z 2241 4. 超音波探傷試験：通産省告示第501号2章第6条 垂直法 5. 非金属介在物：JIS G 0555 6. 結晶粒度：JIS G 0551 (酸化法) 7. 液体浸透探傷試験：通産省告示第501号2章第11条 8. 寸法検査：JIS B 0405																																			

Table.4 Manufacturing Process of 9Cr-2Mo Steel Plate.

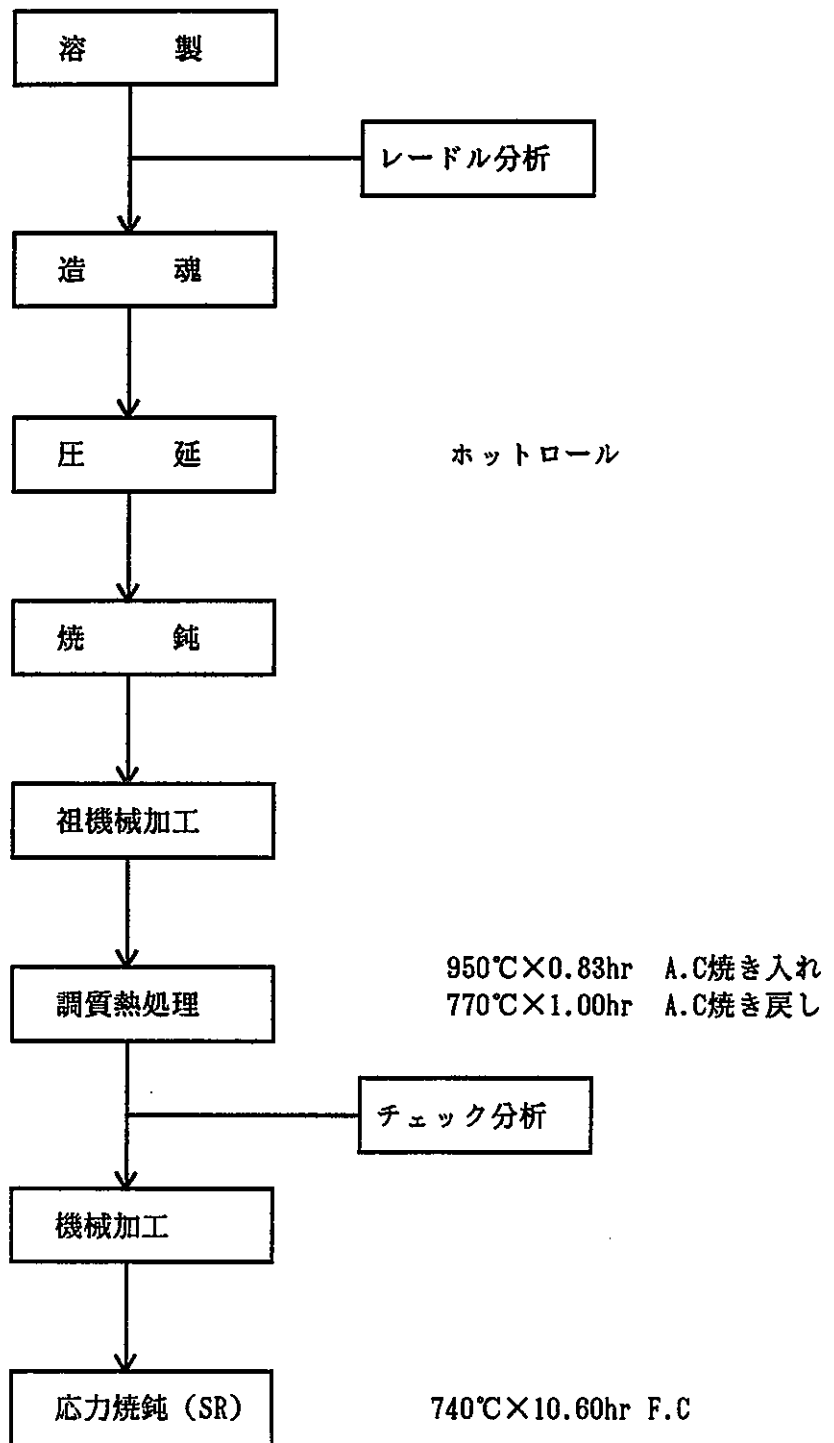


Table.5 Summary of manufacturing specification of Mod.9Cr-1Mo Steel Tube.

項目	内容																																			
適用規格	1. 通産省告示501号「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」 2. JIS G 3462-1978 「ボイラー・熱交換器用合金鋼管」準用																																			
製造	1. 溶製：電気炉で溶解後、エレクトロスラグ再溶解（ESR）等の精錬 2. 圧延：冷管仕上継目無配管 3. 熱処理：焼き入れ 1040℃×1.00hr A.C 焼き戻し 780℃×1.00hr A.C																																			
購入仕様	1. 化学成分（%） <table border="1" style="width:100%; text-align:center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">成分</th> <th>C</th> <th>Si</th> <th>Mn</th> <th>P</th> <th>S</th> <th>Ni</th> <th>Cr</th> <th>Mo</th> </tr> <tr> <th colspan="3">x100</th> <th colspan="2">x1000</th> <th colspan="3">x100</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>レードル</td> <td>8~12</td> <td>20~50</td> <td>30~60</td> <td>≦20</td> <td>≦10</td> <td>≦40</td> <td>800~950</td> <td>85~105</td> </tr> <tr> <td>チェック</td> <td>8~12</td> <td>20~50</td> <td>30~60</td> <td>≦20</td> <td>≦10</td> <td>≦40</td> <td>800~950</td> <td>85~105</td> </tr> </tbody> </table>	成分	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	x100			x1000		x100			レードル	8~12	20~50	30~60	≦20	≦10	≦40	800~950	85~105	チェック	8~12	20~50	30~60	≦20	≦10	≦40	800~950	85~105
	成分		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo																										
		x100			x1000		x100																													
	レードル	8~12	20~50	30~60	≦20	≦10	≦40	800~950	85~105																											
	チェック	8~12	20~50	30~60	≦20	≦10	≦40	800~950	85~105																											
	<table border="1" style="width:100%; text-align:center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th>V</th> <th>Nb</th> <th>Al</th> <th>N</th> </tr> <tr> <th>x1000</th> <th>x100</th> <th colspan="2">x1000</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>レードル</td> <td>18~25</td> <td>6~10</td> <td>≦40</td> <td>30~70</td> </tr> <tr> <td>チェック</td> <td>18~25</td> <td>6~10</td> <td>≦40</td> <td>30~70</td> </tr> </tbody> </table>		V	Nb	Al	N	x1000	x100	x1000		レードル	18~25	6~10	≦40	30~70	チェック	18~25	6~10	≦40	30~70																
	V		Nb	Al	N																															
	x1000	x100	x1000																																	
レードル	18~25	6~10	≦40	30~70																																
チェック	18~25	6~10	≦40	30~70																																
	2. 機械的性質 <table border="1" style="width:100%; text-align:center;"> <thead> <tr> <th colspan="4">引張試験</th> </tr> <tr> <th>0.2%耐力 kg/mm²</th> <th>引張強さ kg/mm²</th> <th>伸び %</th> <th>絞り %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>≧42.2</td> <td>≧60</td> <td>≧20</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>	引張試験				0.2%耐力 kg/mm ²	引張強さ kg/mm ²	伸び %	絞り %	≧42.2	≧60	≧20	-																							
引張試験																																				
0.2%耐力 kg/mm ²	引張強さ kg/mm ²	伸び %	絞り %																																	
≧42.2	≧60	≧20	-																																	
	3. 形状寸法 外径31.8mm, 厚さ3.5mm, 長さ 12,000mm																																			
試験および 検査方法	1. とりべ分析 : JIS G 0321 2. 製品分析 : JIS G 0321 3. 引張試験 : JIS Z 2241 4. 偏平試験 : JIS G 3462 5. 押し広げ試験 : JIS G 3462 6. 水圧試験 : JIS G 3462 7. 非金属介在物 : JIS G 0555 8. 結晶粒度 : JIS G 0551 (酸化法) 9. 液体浸透探傷試験 : 通産省告示第501号2章第11条 10. 寸法検査 : JIS B 0405																																			

Table.6 Manufacturing Prossess of Mod.9Cr-1Mo Steel Tube.

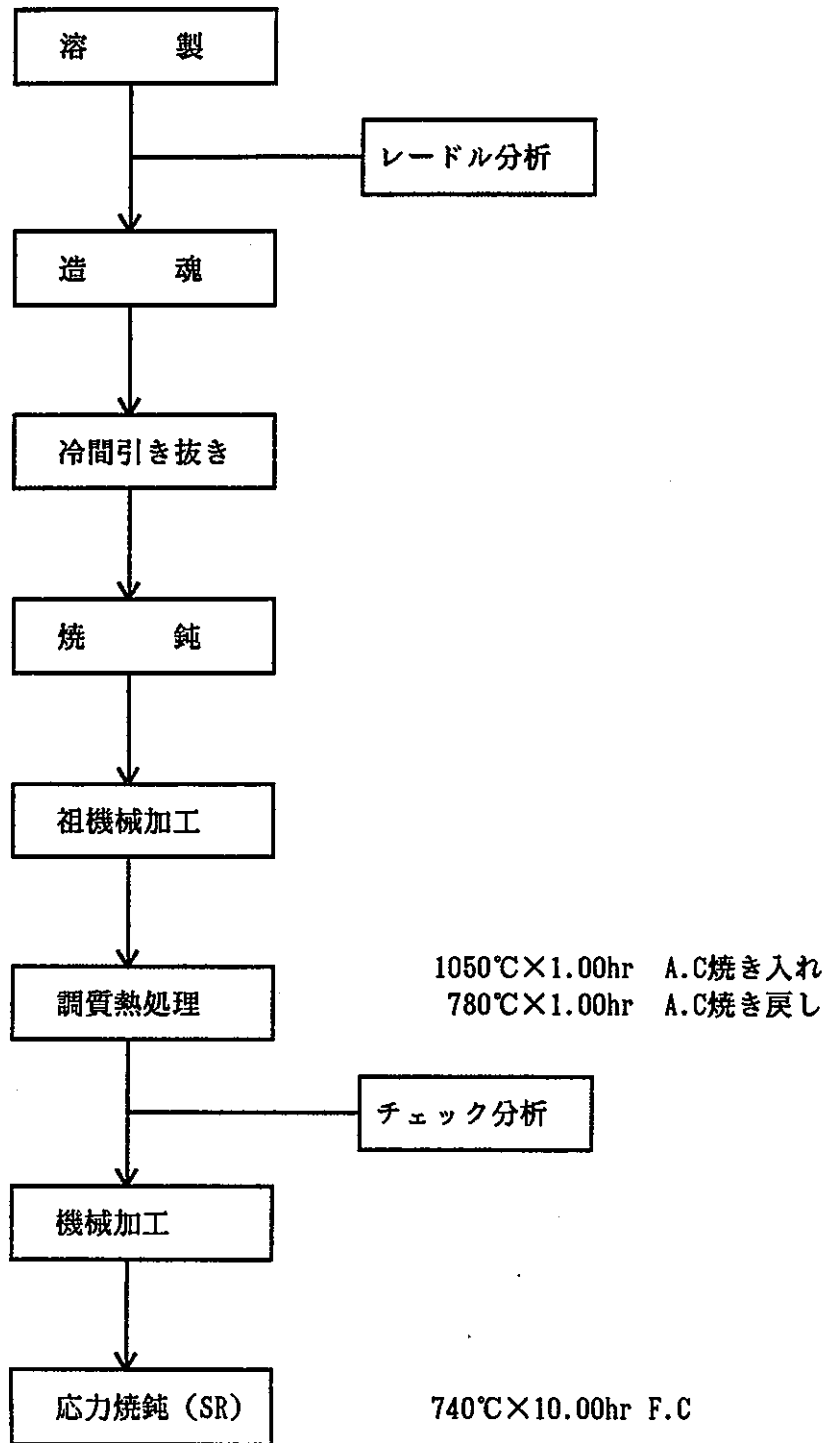


Table.7 Summary of manufacturing specification of 9Cr-2Mo Steel Tube.

項目	内容								
適用規格	1. 通産省告示501号「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」 2. JIS G 3462-1978 「ボイラー・熱交換器用合金鋼管」準用								
製造	1. 溶製：電気炉で溶解後、エレクトロスラグ再溶解（ESR）等の精錬 2. 圧延：冷間仕上継目無配管 3. 熱処理：焼き入れ 950℃×0.33hr A.C 焼き戻し 760℃×1.00hr A.C								
購入仕様	1. 化学成分 (wt%)								
	成分	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
		x100			x1000		x100		
	レードル	≦8	≦8	30~60	≦	≦	*	800~1000	180~220
	チェック	≦8	≦8	30~60	≦	≦	*	800~1000	180~220
		*印は数値報告							
		V	Nb	Al	N				
		x1000	x100	x1000					
レードル		*	*	*	*				
チェック		*	*	*	*				
	2. 機械的性質								
	引張試験								
	0.2%耐力 kg/mm ²	引張強さ kg/mm ²	伸び %	絞り %					
	≧30	≧52	≧25	*					
	3. 形状寸法 外径 31.8mm, 厚さ 3.5mm, 長さ 1200mm								
試験および 検査方法	1. とりべ分析 : JIS G 0321 2. 製品分析 : JIS G 0321 3. 引張試験 : JIS Z 2241 4. 偏平試験 : JIS G 3462 5. 押し広げ試験 : JIS G 3462 6. 水圧試験 : JIS G 3462 7. 非金属介在物 : JIS G 0555 8. 結晶粒度 : JIS G 0551 (酸化法) 9. 液体浸透探傷試験 : 通産省告示第501号2章第11条 10. 寸法検査 : JIS B 0405								

Table.8 Manufacturing Process of 9Cr-2Mo Steel Tube.

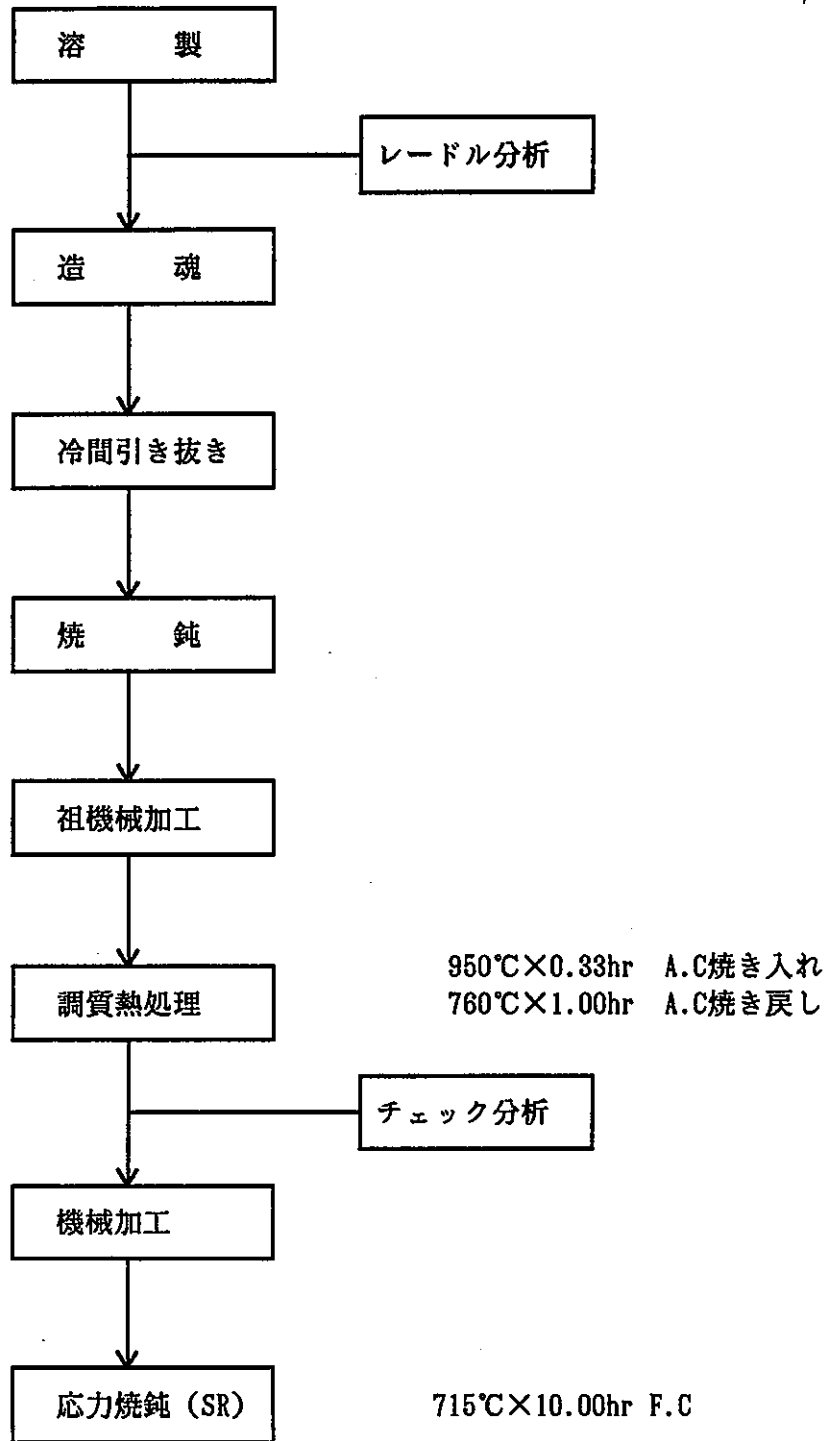


Table 9 Chemical Composition, Heat Treatment and Mechanical Properties of Tested Materials.

(a) Chemical Composition

Materials	Heat No.	Form (mm)	Stress Relief Treatment	Chemical Composition (Product Analysis wt%)											
				C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Nb	Al	V	N
Mod. 9Cr-1Mo	F2	Plate	740°C×10.60hrs	0.10	0.040	0.43	0.014	0.001	0.07	8.73	0.96	0.09	0.013	0.22	0.0510
Mod. 9Cr-1Mo	F3	Tube	740°C×10hrs	0.09	0.041	0.42	0.013	0.001	0.09	8.83	0.98	0.07	0.02	0.21	0.04
9Cr-2Mo	H3	Plate	715°C×10.75hrs	0.06	0.043	0.59	0.007	0.001	0.30	8.51	1.80	0.001	0.012	0.020	0.040
9Cr-2Mo	H4	Tube	715°C×10hrs	0.07	0.05	0.60	0.006	0.002	0.29	8.52	1.81	0.002	0.013	0.025	0.042

(b) Heat Treatment

Materials	Heat No.	Form (mm)	Normalized	Tempered
Mod. 9Cr-1Mo	F2	Plate	1050°C×0.83hrs	780°C×1.00hrs
Mod. 9Cr-1Mo	F3	Tube	1040°C×1.0hrs	780°C×1.0hrs
9Cr-2Mo	H3	Plate	950°C×0.83hrs	770°C×1.00hrs
9Cr-2Mo	H4	Tube	950°C×0.33hrs	760°C×1.0hrs

(c) Mechanical Properties

(at Room Temperature)

Materials	Heat No.	Form	0.2% Proof Stress (kg/mm ²)	Tensile Strength (kg/mm ²)	Elongation (%)	Reduction of Area (%)	Grain size (No.)
Mod. 9Cr-1Mo	F2	Plate	49.7	69.3	29.7	74.3	-
Mod. 9Cr-1Mo	F3	Tube	51.3	71.0	32	-	9.3
9Cr-2Mo	H3	Plate	42.5	60.1	31.3	79.4	-
9Cr-2Mo	H4	Tube	45	65	39	-	8.0

Table 10 Results of Tensile Test on Mod.9Cr-1Mo Steel Plate.

Specimen No.	Test Temp. (°C)	0.2% Yield Strength (kg/mm ²)	Ultimate Tensile Strength (kg/mm ²)	Fracture Elongation (%)	Reduction of Area (%)	Apparent Elastic Modulus (kg/mm ²)	Fracture Location	Yield Ratio (%)
EUE6A0	R. T	48.8	66.7	25.9	74.1	2.03 x 10 ⁴	A	73.2
EUE6A1		48.9	66.9	25.7	73.4	2.01 x 10 ⁴	A	73.1
EUE6A2	100	46.2	61.9	24.1	75.5	2.14 x 10 ⁴	A	74.6
EUE6A3		46.4	62.2	24.2	75.0	1.95 x 10 ⁴	A	74.6
EUE6A4	200	44.3	59.0	22.0	75.4	2.01 x 10 ⁴	A	75.1
EUE6A5		44.5	59.2	22.2	74.8	2.03 x 10 ⁴	A	75.2
EUE6A6	300	43.4	56.2	20.0	74.2	2.00 x 10 ⁴	A	77.2
EUE6A7		43.0	55.9	20.3	73.7	2.04 x 10 ⁴	A	76.9
EUE6A8	400	41.1	53.2	19.2	72.7	1.85 x 10 ⁴	A	77.3
EUE6A9		41.4	53.6	19.4	72.6	1.91 x 10 ⁴	A	77.2
EUE6B0	450	40.1	51.6	20.8	75.6	1.75 x 10 ⁴	A	77.7
EUE6B1		40.8	52.5	21.3	75.3	1.74 x 10 ⁴	A	77.7
EUE6B2	500	38.6	47.8	25.5	81.2	1.65 x 10 ⁴	A	80.8
EUE6B3		38.4	47.8	25.8	81.0	1.64 x 10 ⁴	A	80.3
EUE6B4	550	34.5	41.3	30.2	87.8	1.48 x 10 ⁴	A	83.5
EUE6B5		33.9	41.0	28.9	87.7	1.60 x 10 ⁴	A	82.7
EUE6B6	600	27.3	33.9	35.2	92.8	1.31 x 10 ⁴	A	80.5
EUE6B7		26.6	33.6	34.4	92.8	1.33 x 10 ⁴	A	79.2

Table 11 Results of Tensile Test on Mod.9Cr-1Mo Steel Tube.

Specimen No.	Test Temp. (°C)	0.2% Yield Strength (kg/mm ²)	Ultimate Tensile Strength (kg/mm ²)	Fracture Elongation (%)	Reduction of Area (%)	Apparent Elastic Modulus (kg/mm ²)	Fracture Location	Yield Ratio (%)
EXZ7A0	R. T	49.7	67.8	26.0	72.0	—	A	73.3
EXZ7B0		49.9	68.0	24.0	74.0	—	A	73.4
EXZ7A1	100	47.8	64.3	22.0	74.0	—	B	74.3
EXZ7B1		47.3	63.1	21.0	74.0	—	B	75.0
EXZ7A2	200	45.2	60.2	21.0	74.0	—	A	75.1
EXZ7B2		44.8	60.3	21.0	71.0	—	A	74.3
EXZ7A3	300	44.2	57.4	19.0	74.0	—	B	77.0
EXZ7B3		44.0	57.2	19.0	74.0	—	A	76.9
EXZ7A4	400	41.4	54.3	17.0	75.0	—	A	76.2
EXZ7B4		42.2	54.4	18.0	73.0	—	A	77.6
EXZ7A6	450	39.9	51.5	22.0	75.0	—	A	77.5
EXZ7B5		40.2	51.6	21.0	74.0	—	A	77.9
EXZ7A5	500	36.4	46.4	26.0	81.0	—	A	78.4
EXZ7B6		37.4	46.4	25.0	79.0	—	B	80.6
EXZ7A7	550	33.2	40.3	29.0	85.0	—	B	82.4
EXZ7B7		33.9	40.9	31.0	85.0	—	A	82.9
EXZ7A8	600	26.6	33.6	33.0	87.0	—	A	79.2
EXZ7A9		26.1	33.5	36.0	90.0	—	B	77.9

Table 12 Results of Tensile Test on 9Cr-2Mo Steel Plate.

Specimen No.	Test Temp. (°C)	0.2% Yield Strength (kg/mm ²)	Ultimate Tensile Strength (kg/mm ²)	Fracture Elongation (%)	Reduction of Area (%)	Apparent Elastic Modulus (kg/mm ²)	Fracture Location	Yield Ratio (%)
EVE6A0	R. T	43.1	60.6	28.5	79.7	1.90 x 10 ⁴	A	71.1
EVE6A1		43.9	61.6	28.4	78.5	2.03 x 10 ⁴	A	71.3
EVE6A2	100	41.0	56.4	27.2	80.9	1.77 x 10 ⁴	A	72.7
EVE6A3		40.7	55.8	27.3	80.7	1.92 x 10 ⁴	A	72.9
EVE6A4	200	38.5	51.9	24.7	81.2	2.04 x 10 ⁴	A	74.2
EVE6A5		38.2	51.7	25.1	81.9	1.99 x 10 ⁴	A	73.9
EVE6A6	300	37.0	48.7	22.3	80.8	1.90 x 10 ⁴	A	76.0
EVE6A7		36.9	48.6	22.5	79.7	1.81 x 10 ⁴	A	75.9
EVE6A8	400	35.4	46.9	21.8	78.9	1.85 x 10 ⁴	A	75.5
EVE6A9		35.4	46.8	22.5	77.5	1.87 x 10 ⁴	A	75.6
EVE6B0	450	34.0	45.3	22.1	78.5	1.77 x 10 ⁴	A	75.1
EVE6B1		33.8	45.0	21.7	79.5	1.76 x 10 ⁴	A	75.1
EVE6B2	500	32.6	41.5	25.6	82.9	1.73 x 10 ⁴	A	78.6
EVE6B3		32.6	41.5	26.0	83.5	1.67 x 10 ⁴	A	78.6
EVE6B4	550	30.0	36.3	30.9	86.5	1.54 x 10 ⁴	A	82.6
EVE6B5		30.0	36.5	30.4	87.3	1.62 x 10 ⁴	A	82.2
EVE6B6	600	25.1	30.7	39.0	92.2	1.24 x 10 ⁴	A	81.8
EVE6B7		24.9	30.4	38.1	92.2	1.43 x 10 ⁴	A	81.9

Table 13 Results of Tensile Test on 9Cr-2Mo Steel Tube.

Specimen No.	Test Temp. (°C)	0.2% Yield Strength (kg/mm ²)	Ultimate Tensile Strength (kg/mm ²)	Fracture Elongation (%)	Reduction of Area (%)	Apparent Elastic Modulus (kg/mm ²)	Fracture Location	Yield Ratio (%)
EYZ7A0	R. T	44.5	62.3	27.0	75.0	—	A	71.4
EYZ7B0		44.6	62.5	28.0	79.0	—	A	71.4
EYZ7A1	100	42.1	58.0	27.0	80.0	—	A	72.6
EYZ7B1		42.7	58.4	26.0	77.0	—	A	73.1
EYZ7A2	200	39.9	54.1	23.0	79.0	—	A	73.8
EYZ7B2		39.9	53.9	23.0	79.0	—	A	74.0
EYZ7A3	300	38.8	51.2	20.0	75.0	—	B	75.8
EYZ7B3		38.5	51.0	21.0	80.0	—	A	75.5
EYZ7A4	400	37.5	49.4	20.0	78.0	—	B	75.9
EYZ7B4		36.6	49.6	20.0	77.0	—	B	73.8
EYZ7A5	450	36.4	48.2	21.0	78.0	—	A	75.5
EYZ7B5		36.2	48.1	22.0	77.0	—	A	75.3
EYZ7A6	500	34.9	44.7	25.0	74.0	—	B	78.1
EYZ7B6		34.6	44.6	26.0	82.0	—	A	77.6
EYZ7A7	550	31.5	38.7	34.0	87.0	—	B	81.4
EYZ7B7		31.7	39.1	31.0	87.0	—	B	81.1
EYZ7A8	600	25.9	32.4	43.0	89.0	—	A	79.9
EYZ7A9		25.8	32.8	37.0	92.0	—	B	78.7

Table 14 Creep Test Results of Mod.9Cr-1Mo Steel plate.

Test Specimen No	Test Temperature (°C)	Nominal Stress (kg/mm ²)	Rupture Time (h r)	Fracture Elongation (%)	Reduction of Area (%)	Fracture Location	Strain On Load (%)	Steady Creep Rate (%/h r)	Time to Tertiary Creep (h r)
FUF6A0	500	31.0	1903.9	28.4	84.3	A	0.225	0.972×10^{-3}	1024.0
FUF6A3		29.0	5554.0	33.2	84.8	A	0.185	0.400×10^{-3}	2920.0
FUF6A6		27.0	17283.7	22.1	85.5	A	0.161	0.136×10^{-3}	8120.0
FUF6A9		26.0	25855.4	24.5	85.9	A	0.178	0.132×10^{-3}	16500.0
FUF6B1		34.0	399.5	26.6	82.4	A	0.314	0.709×10^{-2}	228.0
FUF6B5		32.0	1926.7	33.4	84.4	A	0.226	0.109×10^{-2}	1073.0
FUF6A1	550	23.0	694.4	25.6	87.6	A	0.139	0.595×10^{-2}	440.0
FUF6A4		21.0	2141.0	22.7	87.8	B	0.149	0.188×10^{-2}	1495.0
FUF6A7		19.5	9851.3	25.4	86.7	A	0.132	0.314×10^{-3}	6760.0
FUF6B0		18.0	22365.8	20.7	82.4	A	0.059	0.108×10^{-3}	15600.0
FUF6B3		25.0	286.4	34.0	87.3	A	0.208	0.151×10^{-1}	158.0
FUF6B6		22.0	1598.7	29.2	87.5	A	0.172	0.266×10^{-2}	937.0
FUF6A2	600	16.0	357.9	25.2	90.7	B	0.159	0.112×10^{-1}	232.0
FUF6A5		13.0	7864.8	30.9	86.1	A	0.057	—	—
FUF6A8		12.0	15716.1	20.3	79.9	B	0.101	0.159×10^{-3}	10200.0
FUF6B2		11.5	10169.7	25.1	83.0	B	0.098	0.297×10^{-3}	6060.0
FUF6B4		18.0	128.1	53.5	91.3	A	0.163	0.413×10^{-1}	67.6
FUF6B7		14.0	3397.5	32.0	88.4	A	0.143	0.935×10^{-3}	2140.0

Table 15 Creep Test Results of Mod.9Cr-1Mo Steel Tube.

Test Specimen No	Test Temperature (°C)	Nominal Stress (kg/mm ²)	Rupture Time (h r)	Fracture Elongation (%)	Reduction of Area (%)	Fracture Location	Strain On Load (%)	Steady Creep Rate (%/h r)	Time to Tertiary Creep (h r)
FXZ7A0'	500	35.0	97.3	23.6	73.3	A	-	-	-
FXZ7A3'		32.0	1006.8	19.9	71.8	B	-	-	-
FXZ7A6'		29.0	1890.9	21.4	70.3	A	-	-	-
FXZ7B0'		26.5	10109.1	31.1	74.8	A	-	-	-
FXZ7A0		33.0	290.1	26.0	74.0	B	-	-	-
FXZ7A1		31.5	760.1	27.0	81.0	B	-	-	-
FXZ7A2		30.0	1423.0	22.0	78.0	B	-	-	-
FXZ7A9		29.0	2881.9	21.0	80.0	B	-	-	-
FXZ7A1'	550	25.0	79.8	30.0	78.8	A	-	-	-
FXZ7A4'		22.0	762.1	26.8	75.4	A	-	-	-
FXZ7A7'		18.5	10306.1	23.8	58.4	A	-	-	-
FXZ7A3		23.5	240.5	24.0	85.0	B	-	-	-
FXZ7A4		21.5	997.5	33.0	83.0	B	-	-	-
FYZ7A3		19.5	>7600						
FXZ7A2'	600	16.5	170.7	31.2	77.7	B	-	-	-
FXZ7A5'		14.5	952.3	24.9	73.3	B	-	-	-
FXZ7A8'		12.5	6434.7	18.6	35.4	B	-	-	-
FXZ7A9'		11.5	14774.2	9.6	9.8	B	-	-	-
FXZ7A6		15.5	538.5	32.0	87.0	A	-	-	-
FXZ7A7		14.0	2237.3	24.0	79.0	A	-	-	-
FXZ7A8		13.5	2457.4	25.0	79.0	B	-	-	-

Table 16 Creep Test Results of 9Cr-2Mo Steel plate.

Test Specimen No	Test Temperature (°C)	Nominal Stress (kg/mm ²)	Rupture Time (h r)	Fracture Elongation (%)	Reduction of Area (%)	Fracture Location	Strain On Load (%)	Steady Creep Rate (%/h r)	Time to Tertiary Creep (h r)
FVF6A0	500	33.0	70.0	40.5	85.3	A	0.457	0.838×10^{-1}	26.0
FVF6A3		30.0	251.2	32.0	85.7	B	0.253	0.177×10^{-1}	99.9
FVF6A4		28.5	444.4	38.0	86.9	A	0.210	0.104×10^{-1}	180.3
FVF6A5		22.5	5994.2	40.8	88.3	A	0.129	0.137×10^{-2}	2012.1
FVF6A6		20.5	17025.5	35.7	87.5	B	0.113	0.553×10^{-3}	10086.3
FVF6A1		550	17.5	1092.6	63.1	90.3	A	0.115	0.101×10^{-1}	564.5
FVF6A8	18.5		440.8	72.8	92.0	A	0.099	0.228×10^{-1}	183.4
FVF6A9	17.0		971.1	77.8	93.4	A	0.128	0.106×10^{-1}	333.1
FVF6B0	15.0		3265.3	58.6	90.9	A	0.098	0.294×10^{-2}	1548.7
FVF6B1	13.5		8567.2	50.2	89.7	A	0.073	0.953×10^{-3}	4546.7
FVF6B2	12.5		7872hr (Stop)	-	-	-	0.068	0.392×10^{-3}	-
FVF6A2	600	10.5	1509.7	39.4	89.9	B	0.115	0.600×10^{-2}	798.0
FVF6B3		13.0	182.6	70.8	92.5	B	0.123	0.639×10^{-1}	73.8
FVF6B4		10.5	978.4	72.3	95.1	B	0.089	0.916×10^{-2}	375.5
FVF6B5		8.5	5506.2	55.5	87.6	A	-	0.139×10^{-2}	2437.9
FVF6B6		7.5	12840.5	44.6	88.5	B	0.057	0.453×10^{-3}	5063.5
FVF6B7		7.0	7872hr (Stop)	-	-	-	0.051	0.288×10^{-3}	7573.1

Table 17 Creep Test Results of 9Cr-2Mo Steel Tube.

Test Specimen No	Test Temperature (°C)	Nominal Stress (kg/mm ²)	Rupture Time (h r)	Fracture Elongation (%)	Reduction of Area (%)	Fracture Location	Strain On Load (%)	Steady Creep Rate (%/h r)	Time to Tertiary Creep (h r)
FYZ7A0'	500	31.0	214.6	32.5	79.7	A	-	-	-
FYZ7A3'		28.5	723.9	37.7	74.2	A	-	-	-
FYZ7A9'		24.0	8283.8	39.7	73.8	A	-	-	-
FYZ7B0'		21.0	25458.3	32.4	80.1	A	-	-	-
FYZ7A0		29.0	498.3	34	86	A	-	-	-
FYZ7A1		26.5	1227.4	34	77	B	-	-	-
FYZ7A2		25.0	2310.8	43	87	B	-	-	-
FYZ7A1'	550	19.0	614.6	42.4	84.6	A	-	-	-
FYZ7A4'		16.0	3368.7	40.6	77.6	A	-	-	-
FYZ7A7'		15.0	5234.1	25.9	89.7	B	-	-	-
FXZ7A5		20.5	186.8	48	92	B	-	-	-
FYZ7A4		18.0	751.0	57	86	A	-	-	-
FYZ7A5		17.0	1526.8	44	87	B	-	-	-
FYZ7A9		16.0	2278.0	37	84	B	-	-	-
FYZ7A2'	600	15.0	99.8	63.1	87.5	A	-	-	-
FYZ7A6'		13.0	337.6	60.7	84.8	A	-	-	-
FYZ7A8'		8.5	2180.1	43.7	83.2	B	-	-	-
FYZ7B1'		8.5	8628.0	36.7	76.2	A	-	-	-
FYZ7A6		12.5	390.4	46	90	B	-	-	-
FYZ7A7		10.5	1871.9	56	84	B	-	-	-
FYZ7A8		9.5	3168.6	32	89	B	-	-	-

Table 18 Creep rupture equation Ref. (29)

$$(T+273.15) \{(\log_{10}(\alpha_R \cdot t_R) + C) = \lambda_0 + \lambda_1 \log_{10} \sigma + \lambda_2 (\log_{10} \sigma)^2\}$$

T : Temperature (°C) 375 ≤ T ≤ 700
 σ : Stress (kg/mm²) 35 ≤ σ
 t_R : Time to rupture (hr)
 α_R : Time factor (mean value α_R=1)

C = 29.1146 A₁ = 3055.52
 λ₀ = 31808.82 A₂ = -5148.248

Table 19 Creep strain equation Ref. (29)

$$\epsilon_c = C_1 \{1 - \exp(-r_1 t)\} + C_2 \{1 - \exp(-r_2 t)\} + \dot{\epsilon}_s t$$

$$\dot{\epsilon}_s = F_0 \cdot \exp\{-Q/R(T+273.15)\} \cdot t_R^{-\lambda}$$

T : Temperature (°C) 375 ≤ T ≤ 600
 σ : Stress (kg/mm²) 14 ≤ σ
 t_R : Time to rupture (hr)
 ε̇_s : Steady creep strain rate (mm/mm/hr)
 t : Time (hr)
 α_c : Time factor (mean value α_c=1)

t_R = t_R / α_c
 C₁ = 0.30546 ε̇_s^{0.59235} / (r₁/7.0)
 C₂ = 3.5 * 0.26505 ε̇_s^{0.81657} / r₂
 r₁ = 7.0 * 45.2986 t_R^{-0.56859}
 r₂ = 14.3245 t_R^{-0.82278}
 F₀ = 0.77322 Q = 16956.0
 λ = 1.0778 R = 8.31

Table 20 Results of Relaxation Test on Mod.9Cr-1Mo Steel.(1)

Material		Mod 9Cr-1Mo (12t)		
Temperature (°C)	500	550	600	
Test Specimen No	RUR6A1	RUR6A2	RUR6A3	
Load Control Holding Time (sec)	108.0	107.0	14.0	
Strain (%)	0.2	0.2	0.2	
Test Time (hr)	2000.0	2000.0	2000.0	
Residual Stress (kg/mm ²)	0	28.920	24.213	20.220
	1 × 10 ⁻³	28.630	23.170	19.630
	2	28.630	22.691	19.150
	3	28.660	22.494	18.830
	6	28.570	21.338	18.200
	1 × 10 ⁻²	28.380	20.746	17.780
	2	28.120	20.634	17.210
	3	28.030	20.521	16.400
	6	27.460	20.521	15.330
	1 × 10 ⁻¹	26.920	20.521	14.300
	2	26.120	19.506	13.220
	3	25.840	18.181	12.670
	6	24.920	17.174	11.740
	1 × 10 ⁰	24.250	16.856	11.110
	2	23.330	15.813	10.440
	3	22.700	15.193	10.140
	6	21.740	14.094	9.630
	1 × 10 ¹	21.200	13.558	9.300
	2	20.460	12.769	8.810
	3	20.030	12.403	8.580
	6	19.310	11.698	8.180
	1 × 10 ²	18.840	11.416	7.920
	2	18.180	10.683	7.524
	3	17.870	10.119	7.313
	6	17.110	9.387	6.680
	1 × 10 ³	16.700	9.274	6.258
	1.5	16.150	8.118	5.857
	2	15.620	7.836	5.625
	End Time(hr)	2040.2	2016.0	2090.8

Table 21 Results of Relaxation Test on Mod.9Cr-1Mo Steel.(2)

Material		Mod 9Cr-1Mo (12t)		
Temperature (°C)	500	550	600	
Test Specimen No	RUR6A0	RUR6A5	RUR6B7	
Load Control Holding Time (sec)	47.0	0	47.0	
Strain (%)	0.3	0.3	0.3	
Test Time (hr)	2000.0	2000.0	2000.0	
Residual Stress (kg/mm ²)	0	37.560	30.260	21.939
	1 × 10 ⁻³	36.670	28.740	21.298
	2	36.220	28.170	20.780
	3	35.760	27.860	20.287
	6	35.020	27.060	20.164
	1 × 10 ⁻²	34.660	26.620	19.055
	2	34.130	25.800	18.217
	3	33.570	25.040	17.699
	6	32.330	23.830	16.097
	1 × 10 ⁻¹	32.410	22.760	15.234
	2	29.970	21.420	13.607
	3	29.260	20.700	12.818
	6	27.810	19.240	12.079
	1 × 10 ⁰	26.580	18.290	11.339
	2	25.130	16.960	10.896
	3	24.570	16.160	10.600
	6	23.230	15.120	10.230
	1 × 10 ¹	21.360	14.500	9.836
	2	20.170	13.660	9.367
	3	19.800	13.360	8.800
	6	18.640	12.620	8.726
	1 × 10 ²	18.000	12.270	8.258
	2	17.750	12.010	7.790
	3	17.230	11.442	7.420
	6	16.550	10.714	7.444
	1 × 10 ³	15.780	10.175	6.804
1.5	14.580	9.636	6.311	
2	14.154	9.224	6.286	
End Time(hr)	1918.9	2009.6	2018.25	

Table 22 Results of Relaxation Test on Mod.9Cr-1Mo Steel.(3)

Material		Mod 9Cr-1Mo (12t)			
Temperature (°C)	500	500	500	550	
Test Specimen No	RUG6C1	RUG6B7	RUG6B8	RUG6B2	
Load Control Holding Time (sec)	.	.	.	.
Strain (%)	0.2	0.3	0.5	0.1	
Test Time (hr)	200.0	200.0	200.0	200.0	
Residual Stress (kg/mm ²)	0	31.100	35.490	37.780	14.040
	1 × 10 ⁻³	30.020	33.960	35.970	14.100
	2	29.980	33.580	35.620	14.130
	3	29.670	32.750	34.730	13.780
	6	29.090	32.530	33.870	13.460
	1 × 10 ⁻²	28.680	32.470	33.260	13.210
	2	27.850	30.840	32.240	12.760
	3	26.990	29.410	31.260	12.100
	6	26.290	29.160	30.180	12.000
	1 × 10 ⁻¹	25.780	27.880	28.460	11.550
	2	25.460	27.280	28.070	11.430
	3	24.890	26.420	27.530	10.980
	6	24.610	26.040	26.360	10.890
	1 × 10 ⁰	23.300	23.840	24.890	10.470
	2	23.400	22.540	23.430	10.280
	3	23.400	21.040	22.920	10.060
	6	21.870	19.190	22.220	10.060
	1 × 10 ¹	22.000	18.650	20.560	9.990
	2	21.100	18.430	20.400	9.930
	3	20.240	18.140	19.480	10.060
	6	21.100	17.540	20.240	9.930
	1 × 10 ²	20.020	17.670	19.740	9.900
	2	19.100	17.700	18.460	9.450
	3	—	—	—	—
	6	—	—	—	—
	1 × 10 ³	—	—	—	—
1.5	—	—	—	—	
2	—	—	—	—	
End Time(hr)	200.0	200.0	200.0	200.0	

Table 23 Results of Relaxation Test on Mod.9Cr-1Mo Steel.(4)

Material		Mod 9Cr-1Mo (12t)			
Temperature (°C)	550	550	550	550	
Test Specimen No.	RUG6B5	RUG6B4	RUG6A9	RUG6B3	
Load Control Holding Time (sec)	.	.	.	.
Strain (%)	0.15	0.2	0.3	0.5	
Test Time (hr)	200.0	200.0	200.0	200.0	
Residual Stress (kg/mm ²)	0	24.990	30.750	31.930	34.190
	1 × 10 ⁻³	24.130	29.350	29.980	32.340
	2	23.870	28.930	29.630	31.740
	3	23.590	28.390	28.780	30.780
	6	22.700	27.370	27.570	29.440
	1 × 10 ⁻²	22.350	26.830	26.990	28.810
	2	21.450	25.690	25.690	27.370
	3	20.090	23.840	23.550	25.080
	6	19.260	22.820	22.440	23.970
	1 × 10 ⁻¹	18.650	21.710	21.200	22.310
	2	17.570	20.560	19.990	21.140
	3	17.380	20.690	19.540	20.750
	6	16.620	19.320	18.750	19.860
	1 × 10 ⁰	15.630	17.790	17.440	18.330
	2	15.090	17.670	16.770	17.190
	3	15.150	16.970	15.980	16.550
	6	14.510	16.270	15.790	16.200
	1 × 10 ¹	13.620	15.020	15.180	14.550
	2	12.860	14.320	14.290	13.780
	3	12.610	14.040	13.240	13.530
	6	11.330	13.660	13.180	12.830
	1 × 10 ²	10.890	12.990	12.960	12.480
	2	10.570	12.830	12.160	12.030
	3	—	—	—	—
	6	—	—	—	—
	1 × 10 ³	—	—	—	—
	1.5	—	—	—	—
	2	—	—	—	—
End Time(hr)	193.90	200.0	152.50	200.0	

Table 24 Results of Relaxation Test on 9Cr-2Mo Steel.(1)

Material		9Cr-2Mo (12t)		
Temperature (°C)	500	550	600	
Test Specimen No	RVR6A2	RVR6A3	RVR	
Load Control Holding Time (sec)	117.0	67.0		
Strain (%)	0.2	0.2	0.2	
Test Time (hr)	2000.0	2000.0	2000.0	
Residual Stress (kg/mm ²)	0	27.020	26.340	
	1 × 10 ⁻³	26.900	26.030	
	2	26.740	25.840	
	3	26.740	25.550	
	6	26.740	25.230	
	1 × 10 ⁻²	26.550	24.950	
	2	26.480	24.380	
	3	26.200	23.650	
	6	25.660	22.420	
	1 × 10 ⁻¹	25.410	21.210	
	2	24.620	19.440	
	3	24.360	18.400	
	6	23.320	16.280	
	1 × 10 ⁰	22.620	14.660	
	2	21.160	12.700	
	3	20.370	11.460	
	6	18.910	9.500	
	1 × 10 ¹	17.810	8.360	
	2	16.440	7.000	
	3	15.370	6.130	
	6	13.910	5.140	
	1 × 10 ²	12.830	6.840	
	2	11.380	3.961	
	3	10.520	—	
	6	8.870	—	
	1 × 10 ³	7.420	—	
	1.5	6.210	—	
	2	5.290	—	
End Time(hr)	2018.1	195.2		

Table 25 Results of Relaxation Test on 9Cr-2Mo Steel.(2)

Material		9Cr-2Mo (12 t)			
Temperature (°C)	500	500	500	500	
Test Specimen No.	RVG6A4	RVG6A5	RVG6A3	RVG6A1	
Load Control Holding Time (sec)	.	.	.	.
Strain (%)	0.1	0.15	0.2	0.3	
Test Time (hr)	200.0	200.0	200.0	200.0	
Residual Stress (kg/mm ²)	0	17.540	24.220	26.710	31.320
	1 × 10 ⁻³	17.830	23.550	25.810	29.860
	2	17.600	23.400	25.780	29.510
	3	17.510	23.300	25.500	29.320
	6	17.030	22.730	25.270	28.840
	1 × 10 ⁻²	17.160	22.630	25.050	27.950
	2	16.900	21.870	24.730	27.630
	3	16.580	21.710	24.100	26.830
	6	16.710	21.960	24.000	26.360
	1 × 10 ⁻¹	16.140	20.660	23.240	25.530
	2	16.110	20.340	22.790	25.210
	3	15.820	20.590	22.280	24.730
	6	15.790	19.700	22.090	23.870
	1 × 10 ⁰	15.370	18.970	21.070	23.270
	2	15.090	18.530	20.910	22.310
	3	14.770	18.300	20.500	21.710
	6	14.770	18.140	20.210	20.880
	1 × 10 ¹	14.100	16.900	18.560	19.670
	2	13.810	15.340	17.000	17.920
	3	13.110	14.420	16.680	17.190
	6	13.020	13.690	15.310	15.980
	1 × 10 ²	11.970	12.320	14.260	14.390
	2	11.400	11.200	12.030	12.860
	3	—	—	—	—
	6	—	—	—	—
	1 × 10 ³	—	—	—	—
	1.5	—	—	—	—
	2	—	—	—	—
End Time(hr)	200.0	200.0	200.0	200.0	

Table 26 Results of Relaxation Test on 9Cr-2Mo Steel.(3)

Material		9Cr-2Mo (12 t)			
Temperature (°C)		500	550	550	550
Test Specimen No.		RVG6A2	RVG6B3	RVG6B5	RVG6B1
Load Control Holding Time (sec)					
Strain (%)		0.5	0.1	0.15	0.2
Test Time (hr)		200.0	200.0	200.0	200.0
Residual Stress (kg/mm ²)	0	34.060	16.170	22.660	25.310
	1 × 10 ⁻³	32.560	15.760	22.060	24.320
	2	32.310	15.720	21.870	23.940
	3	31.990	15.410	21.170	23.430
	6	31.450	15.280	20.590	22.790
	1 × 10 ⁻²	30.940	15.250	19.890	22.220
	2	30.460	15.090	19.230	21.170
	3	28.330	14.580	17.480	19.390
	6	28.550	13.690	16.680	18.530
	1 × 10 ⁻¹	27.220	13.370	15.340	17.000
	2	26.260	12.640	14.640	16.110
	3	25.970	12.320	13.720	15.250
	6	25.110	12.100	12.830	14.290
	1 × 10 ⁰	24.380	11.460	11.430	12.380
	2	23.330	10.540	9.800	12.190
	3	23.080	9.550	9.040	12.410
	6	21.960	8.940	7.890	11.780
	1 × 10 ¹	20.630	6.880	6.180	9.840
	2	18.840	5.980	5.630	7.290
	3	17.760	5.280	4.490	6.490
	6	16.580	4.620	4.110	5.700
	1 × 10 ²	14.900	3.850	3.690	4.770
	2	13.500	—	3.120	—
	3	—	—	—	—
	6	—	—	—	—
	1 × 10 ³	—	—	—	—
	1.5	—	—	—	—
	2	—	—	—	—
End Time (hr)		200.0	140.0	200.0	146.0

Table 27 Results of Relaxation Test on 9Cr-2Mo Steel.(4)

Material	9Cr-2Mo (12t)			
Temperature (°C)	550	550		
Test Specimen No.	RVG6B4	RVG6B2		
Load Control Holding Time (sec)	.	.		
Strain (%)	0.3	0.5		
Test Time (hr)	200.0	200.0		
Residual Stress (kg/mm ²)	0	27.530	30.650	
	1 × 10 ⁻³	26.390	28.780	
	2	26.130	28.460	
	3	25.560	27.410	
	6	24.760	26.520	
	1 × 10 ⁻²	23.870	25.810	
	2	22.790	24.480	
	3	20.400	21.900	
	6	19.390	20.590	
	1 × 10 ⁻¹	17.760	18.650	
	2	16.360	17.540	
	3	15.630	16.770	
	6	14.450	15.530	
	1 × 10 ⁰	12.700	13.850	
	2	11.010	12.250	
	3	9.640	11.460	
	6	8.470	10.500	
	1 × 10 ¹	7.100	8.820	
	2	6.050	7.070	
	3	5.440	6.330	
	6	4.900	4.970	
	1 × 10 ²	4.110	4.460	
	2	3.500	3.530	
	3	—	—	
	6	—	—	
	1 × 10 ³	—	—	
1.5	—	—		
2	—	—		
End Time(hr)	200.0	200.0		

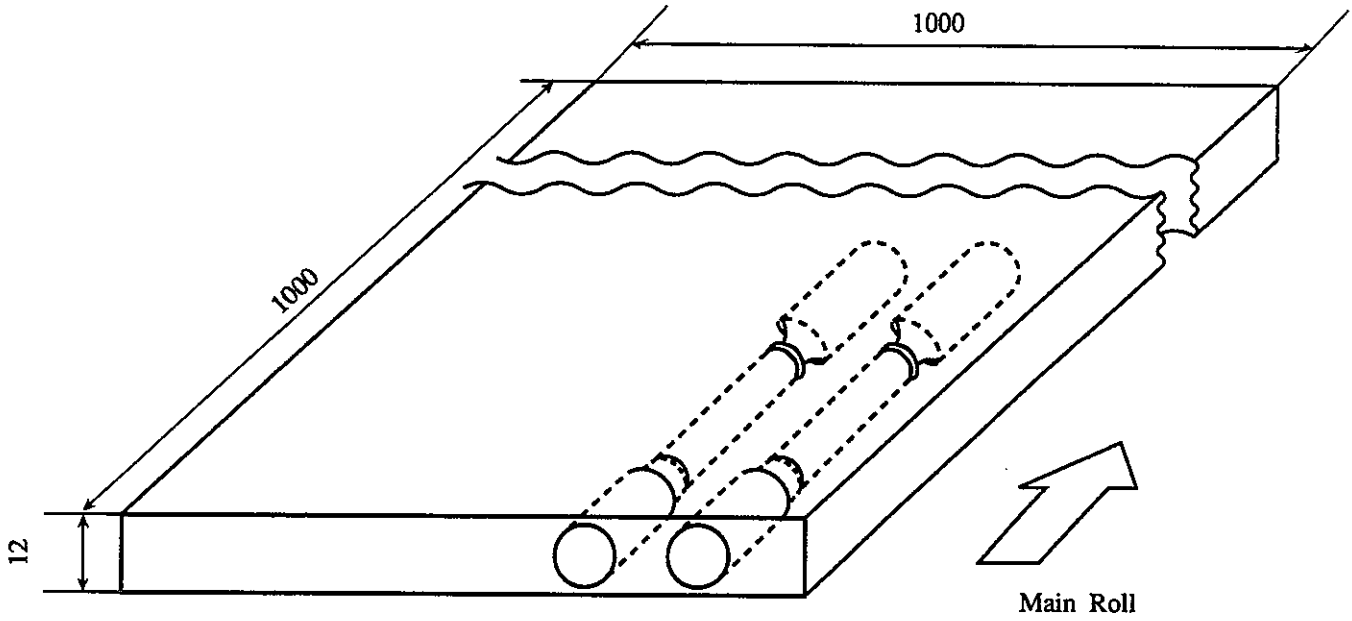


Fig. 1 Sampling Method of Tensile, Creep and Relaxation Test Specimen of 9Cr-Mo Steel Plate.

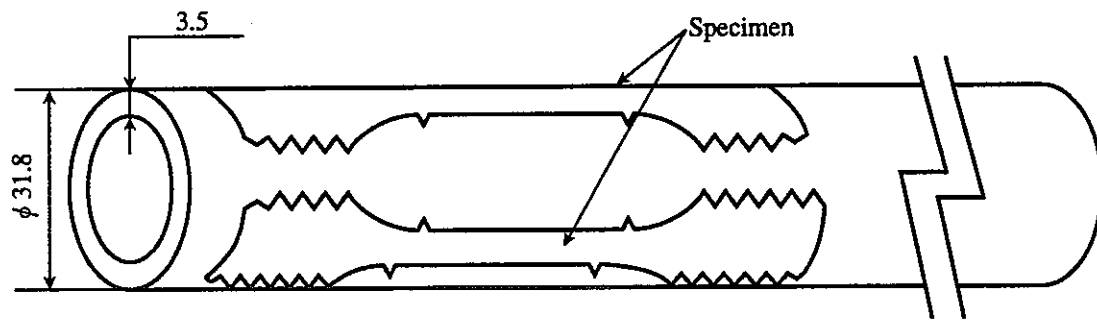
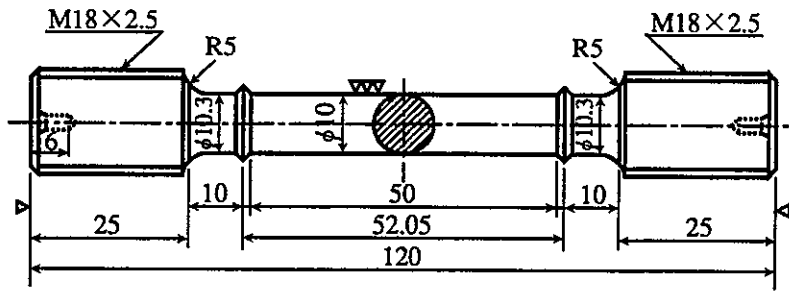
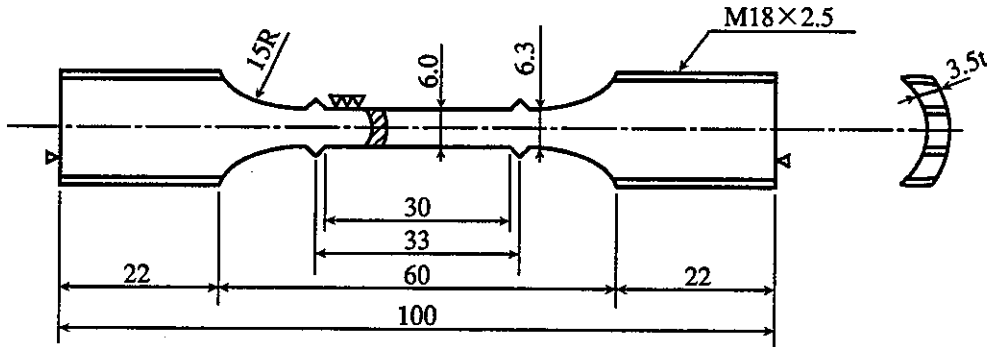


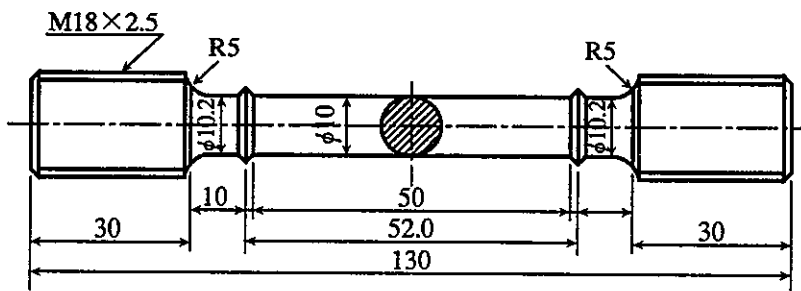
Fig. 2 Sampling Method of Tensile and Creep Test Specimen of 9Cr-Mo Steel Tube.



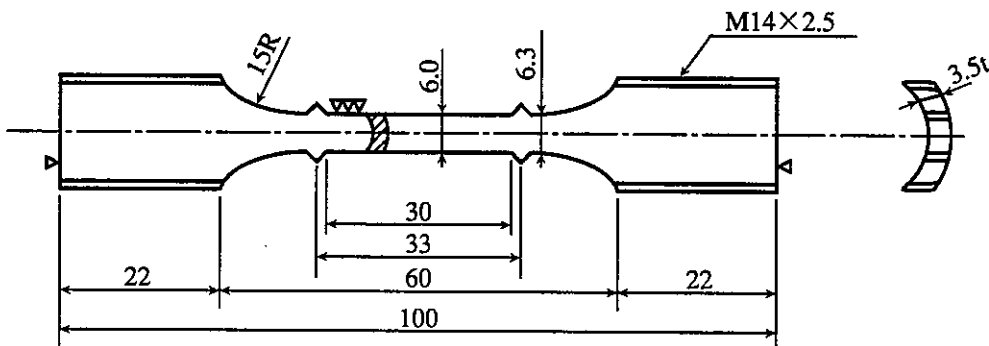
(a) Tensile Test Specimen (1)



(b) Tensile Test Specimen (2)

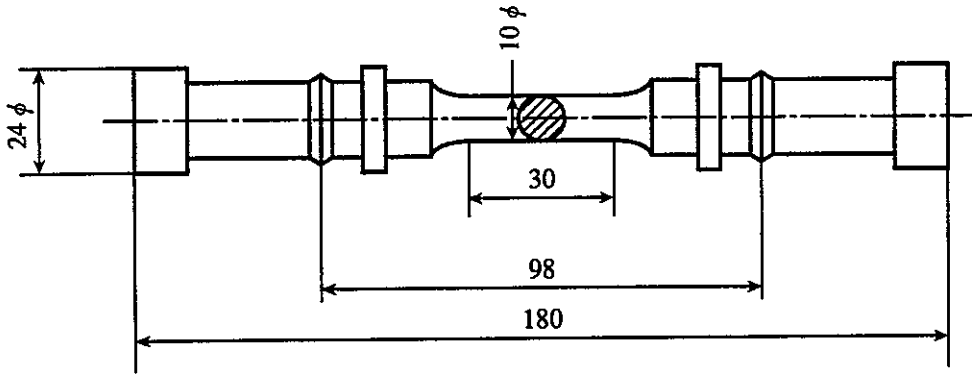


(c) Creep Test Specimen (1)

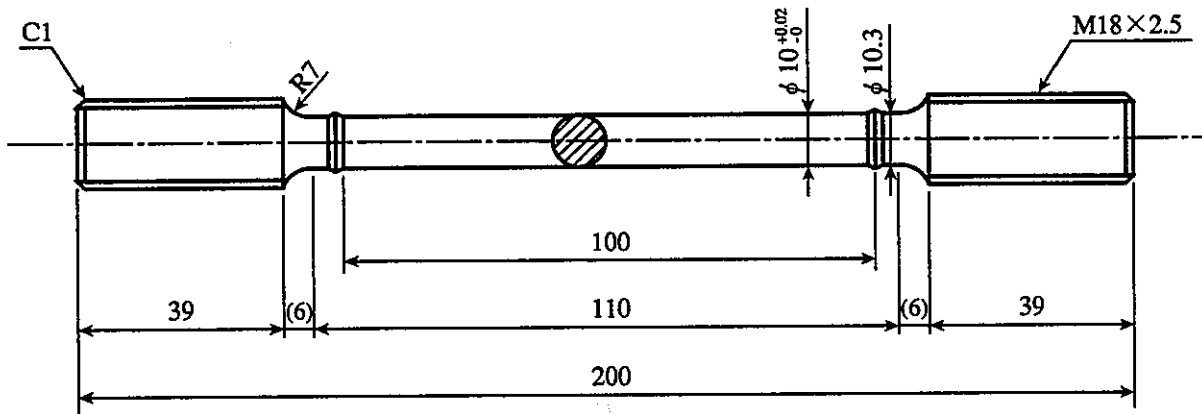


(d) Creep Test Specimen (2)

Fig. 3 Size and Configuration of the Specimens(1).



(e) Fatigue Test Specimen



(f) Relaxation Test Specimen

Fig. 4 Size and Configuration of the Specimens(2).

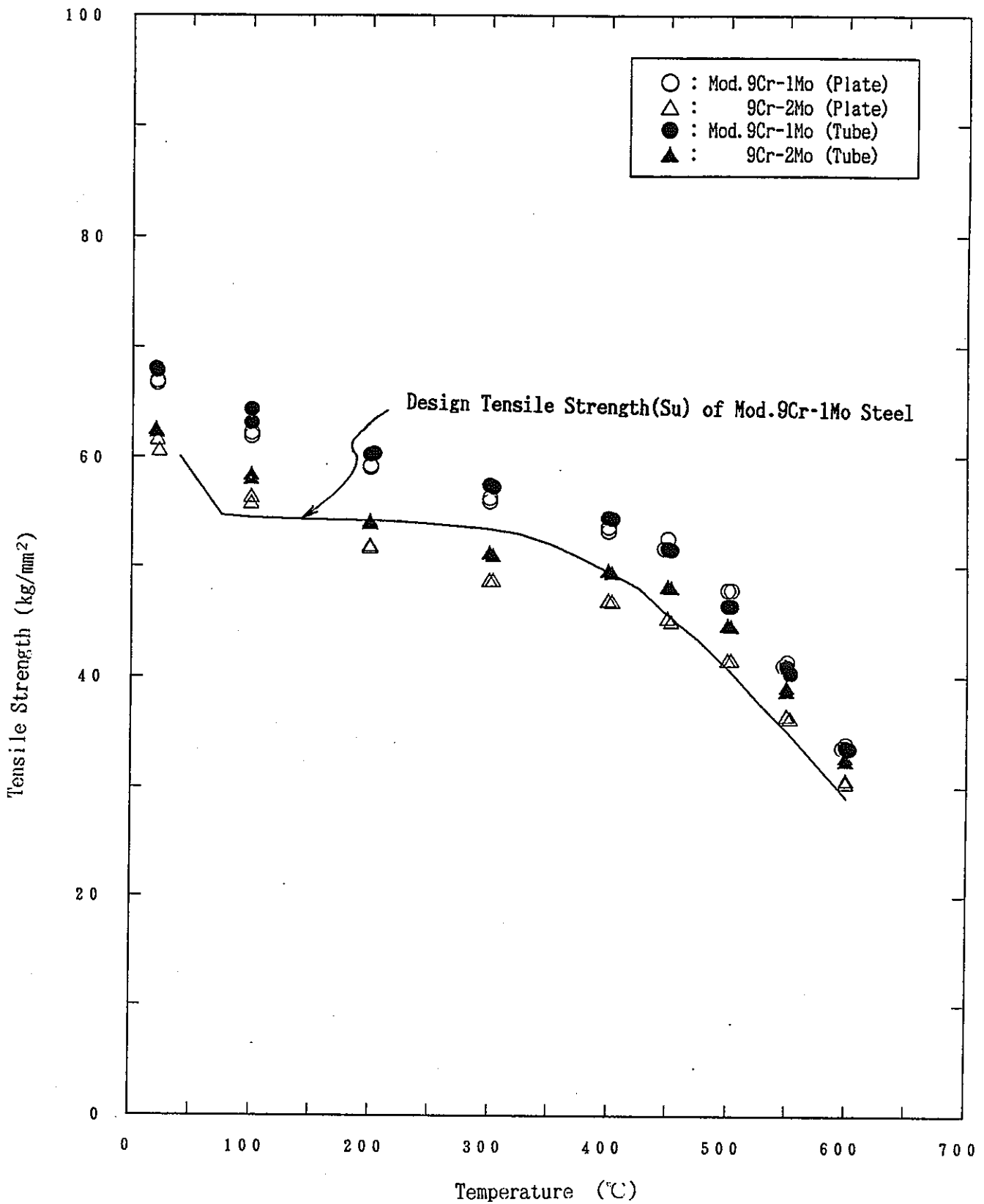


Fig. 5 Ultimate Tensile Strength as a Function of Test Temperature for Plate and Tube of Mod.9Cr-1Mo and 9Cr-2Mo Steels.

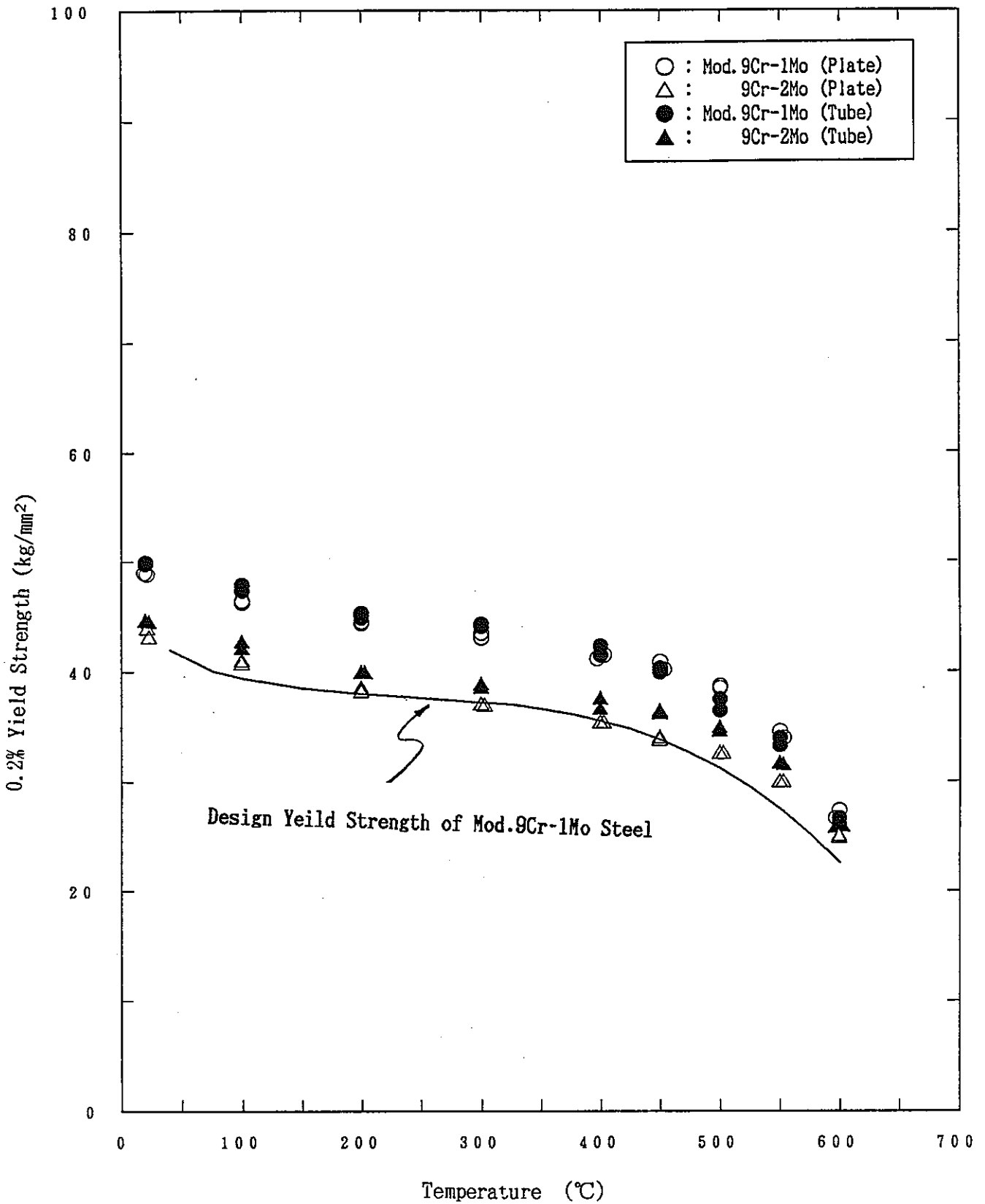


Fig. 6 The 0.2% Yield Strength as a Function of Test Temperature for Plate and Tube of Mod.9Cr-1Mo and 9Cr-2Mo Steels.

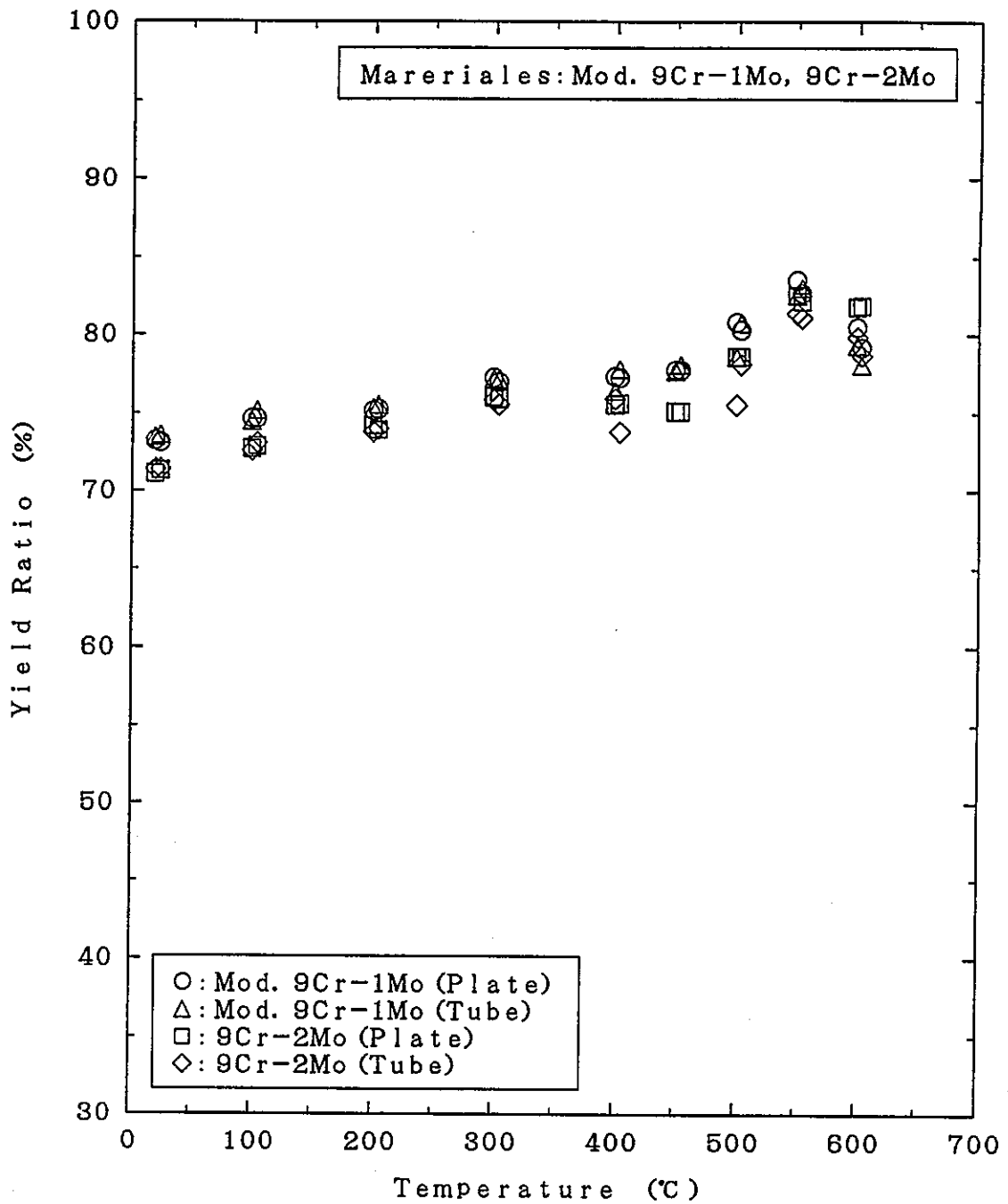


Fig. 7 Variation of Yield Ratio with Test Temperature of Mod.9Cr-1Mo and 9Cr-2Mo Steels.

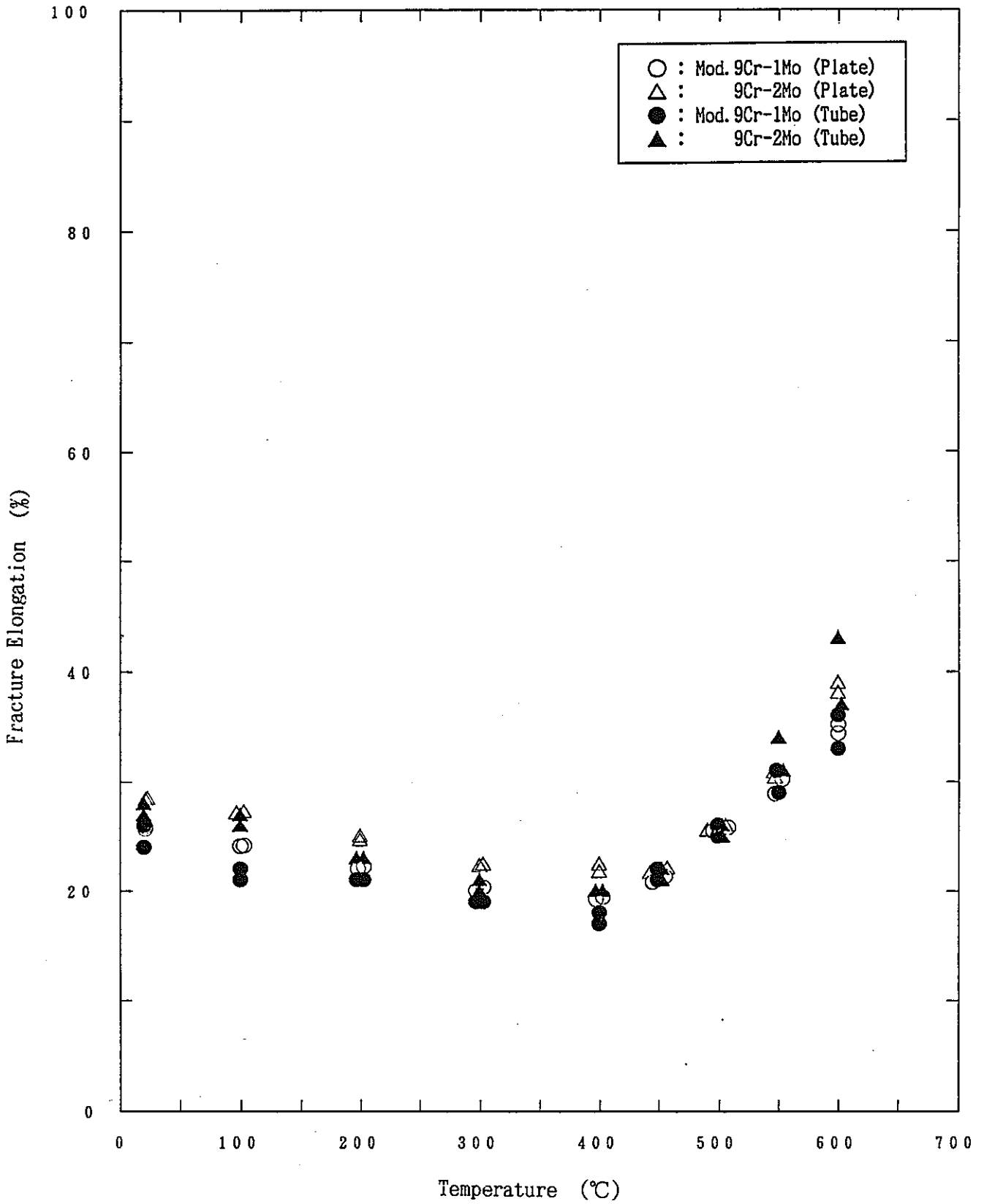


Fig. 8 Fracture Elongation of Mod.9Cr-1Mo and 9Cr-2Mo steels.

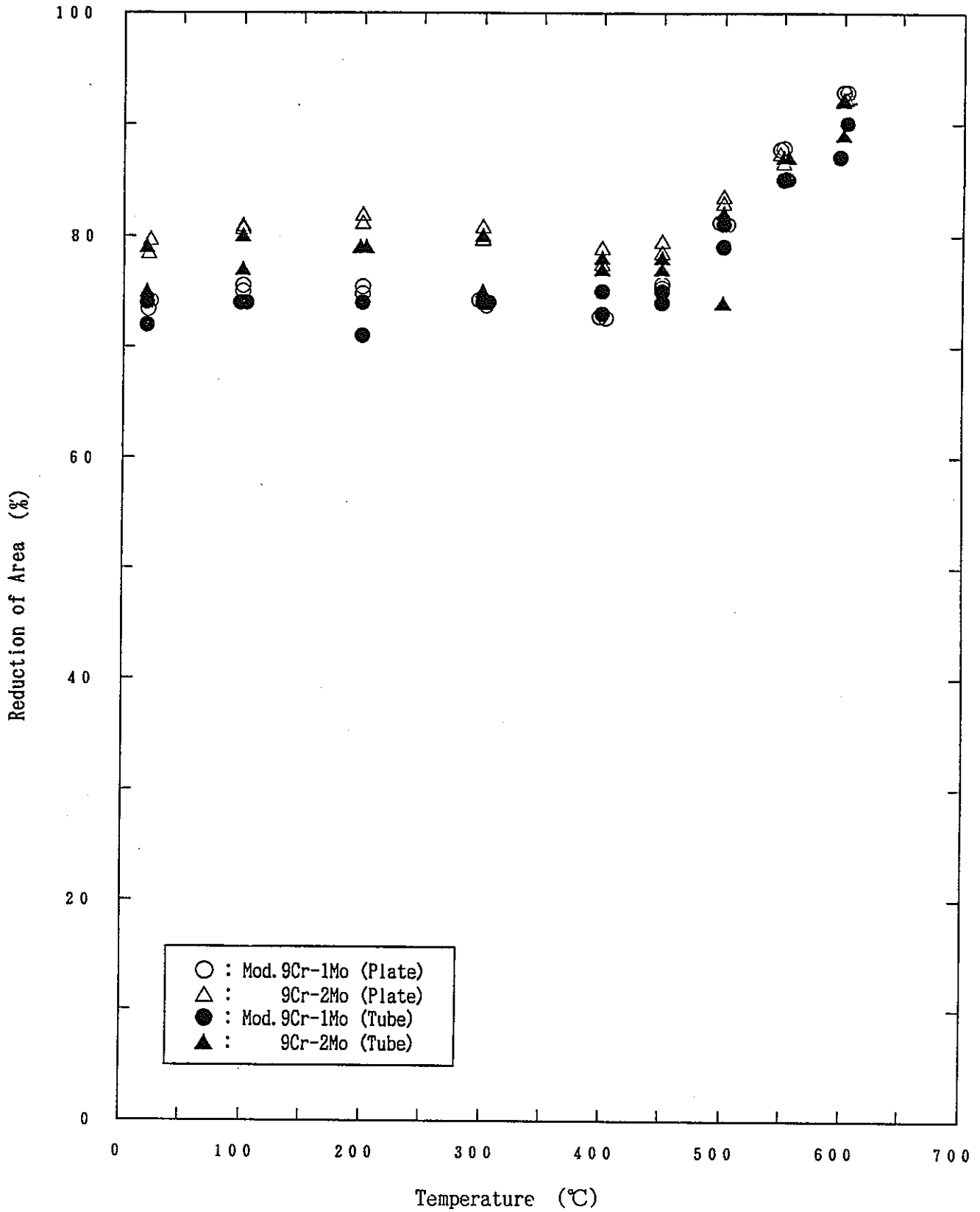


Fig. 9 Reduction of Area at Mod.9Cr-1Mo and 9Cr-2Mo steels.

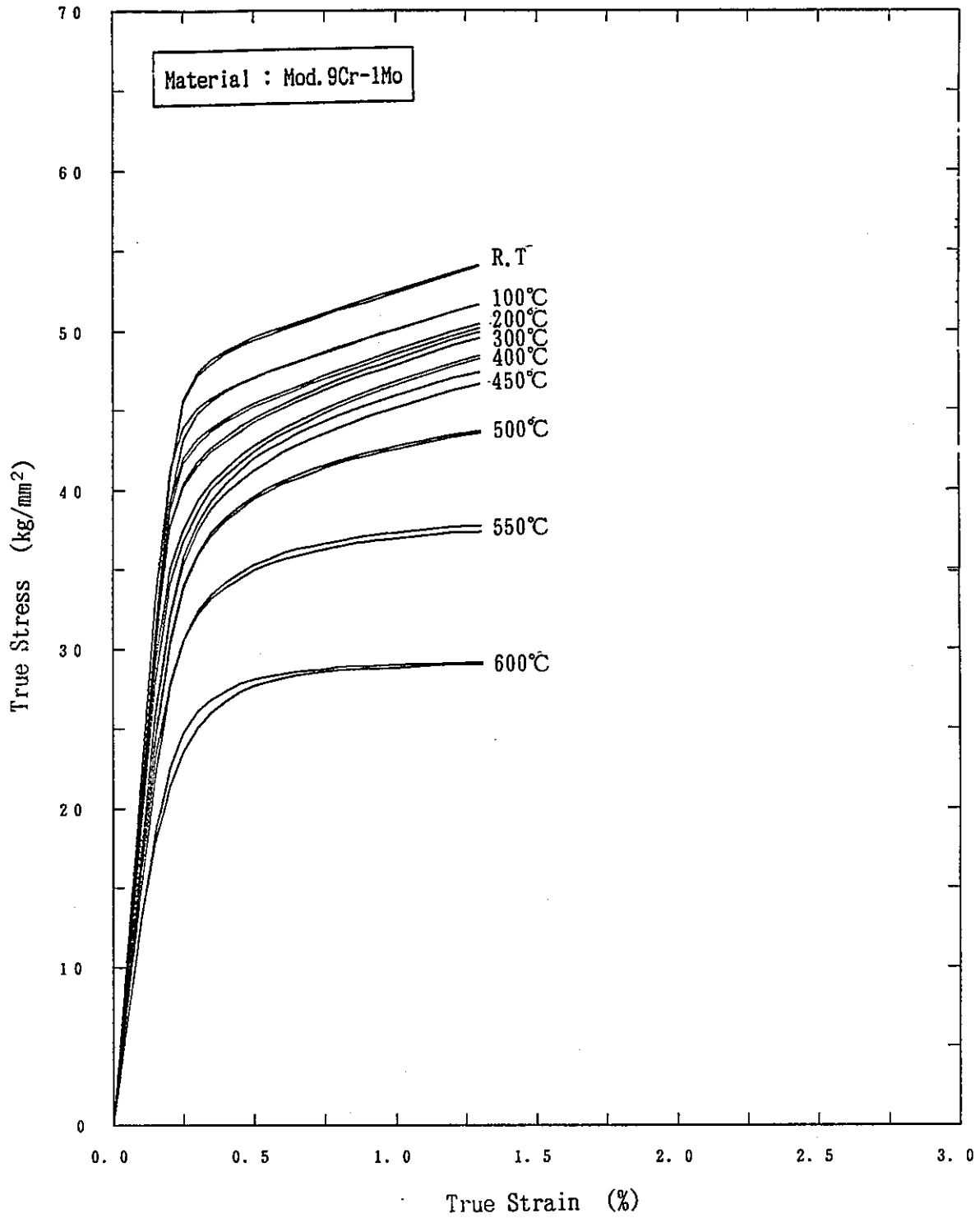


Fig.10 True Stress-Strain Curve between Room Temperature from 600°C of Mod.9Cr-1Mo Steel.

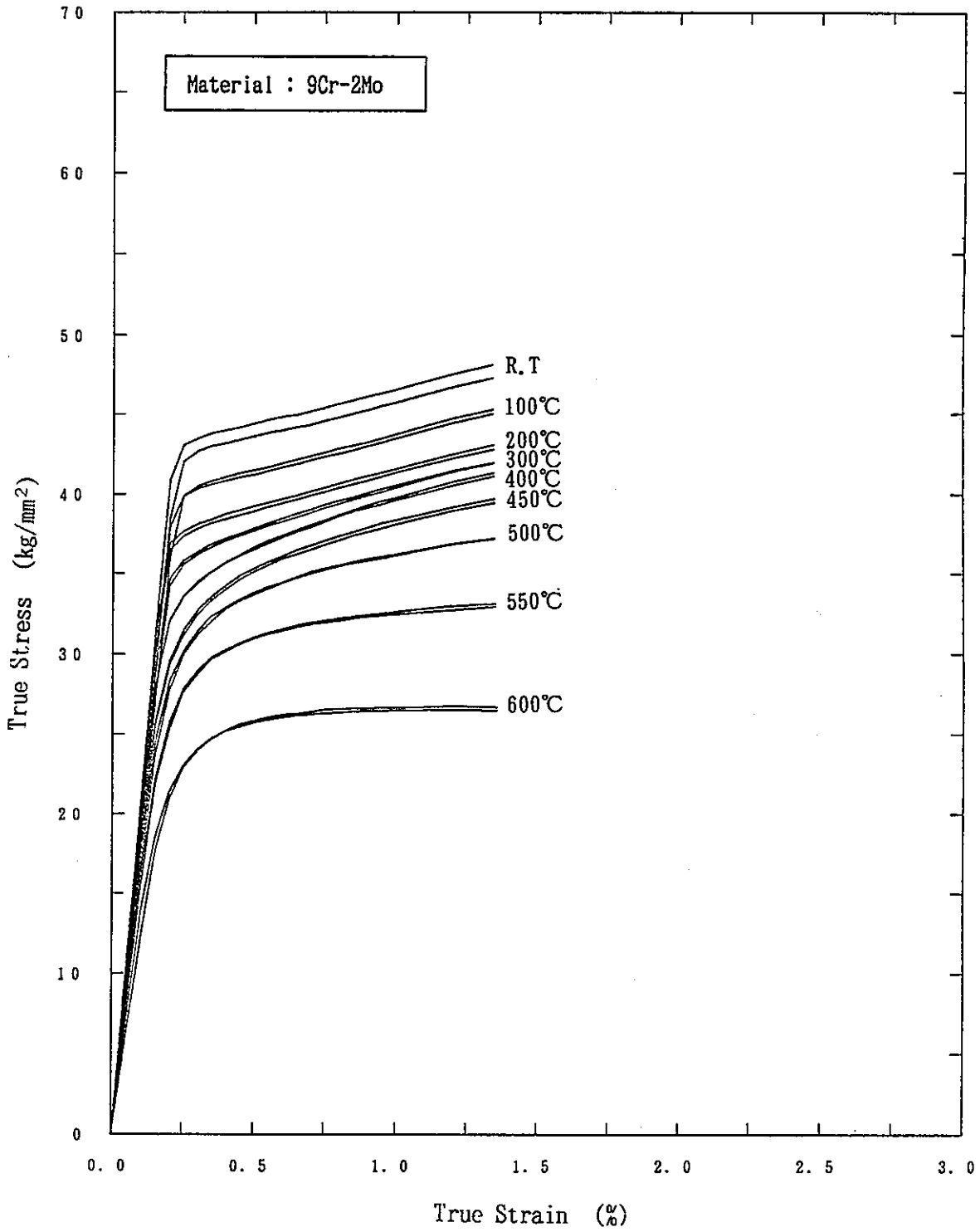


Fig.11 True Stress-Strain Curve between Room Temperature from 600°C of 9Cr-2Mo Steel.

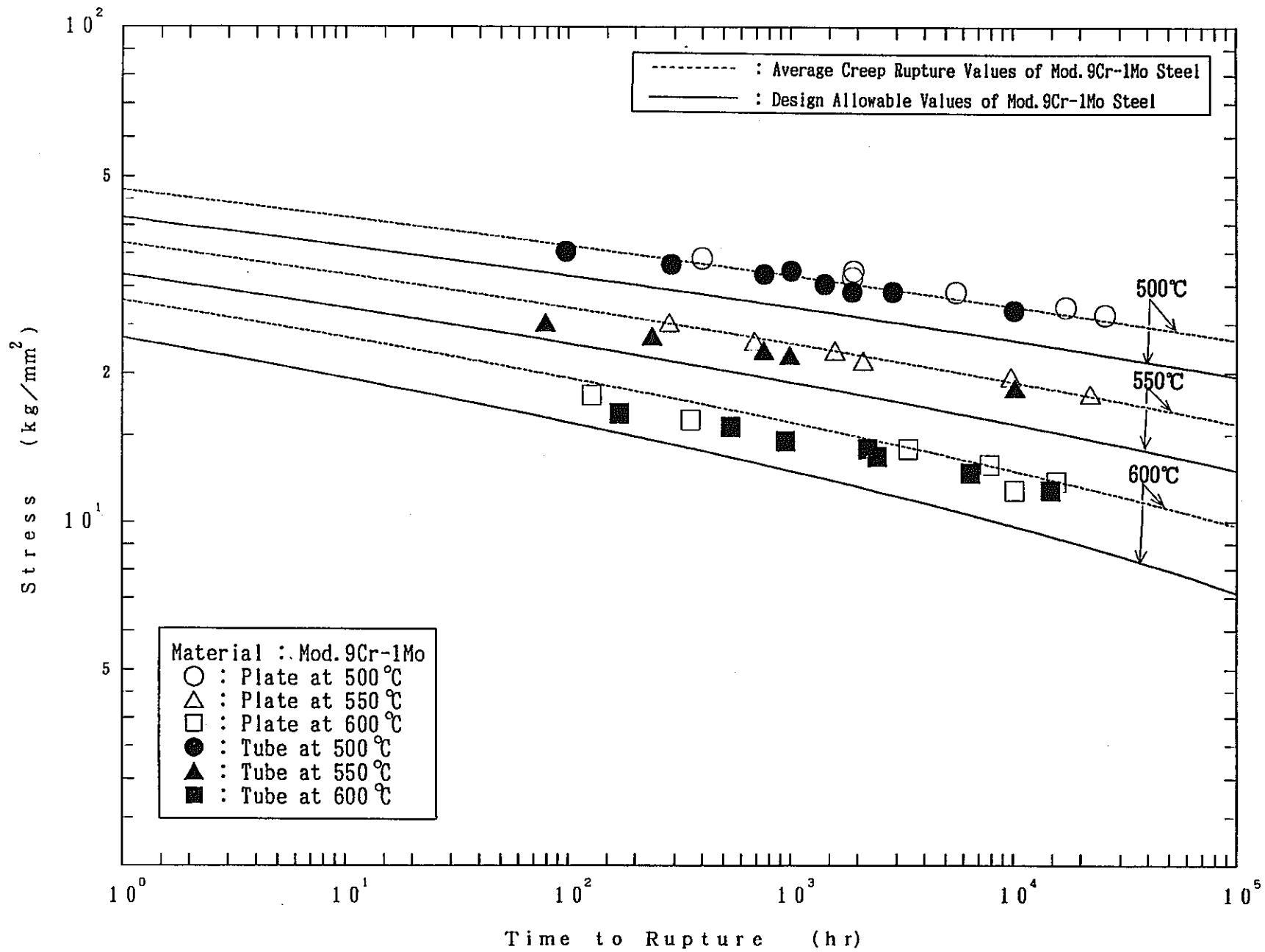


Fig.12 Creep Rupture Properties of Mod.9Cr-1Mo Steel Plate and Tube.

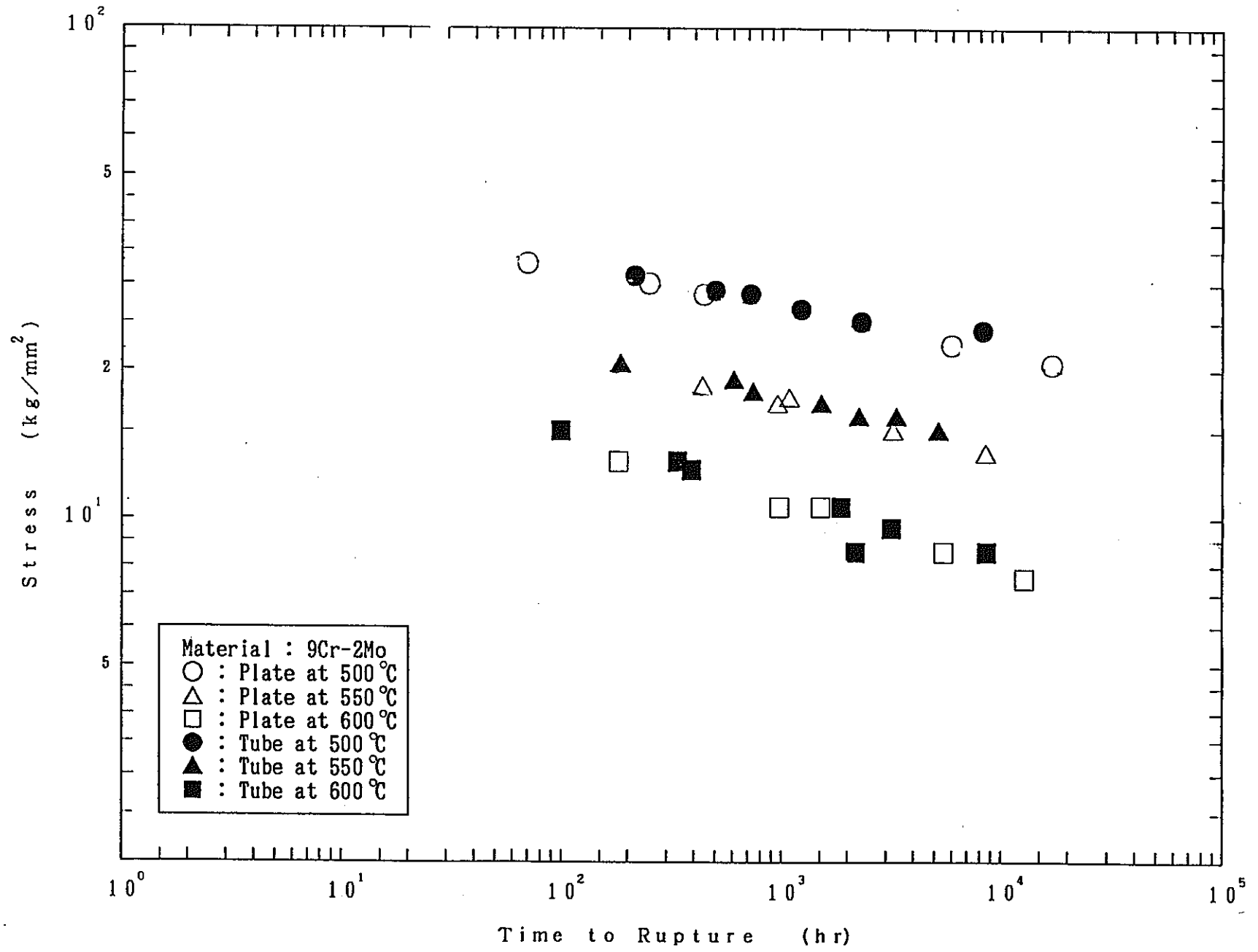


Fig.13 Creep Rupture Properties of 9Cr-2Mo Steel Plate and Tube.

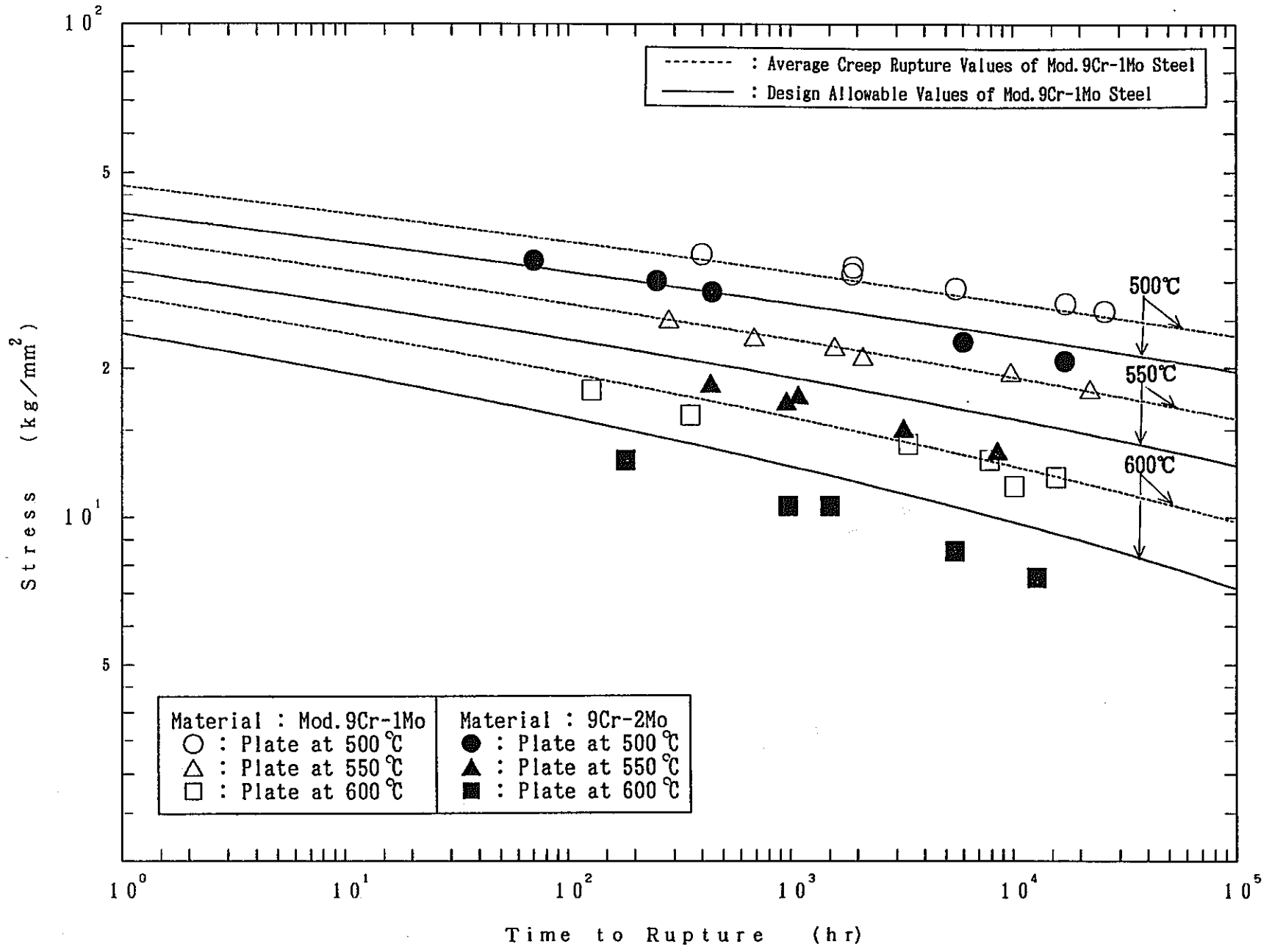


Fig.14 Comparison Between Creep Rupture and Time to Rupture for Mod.9Cr-1Mo and 9Cr-2Mo Steel Plates.

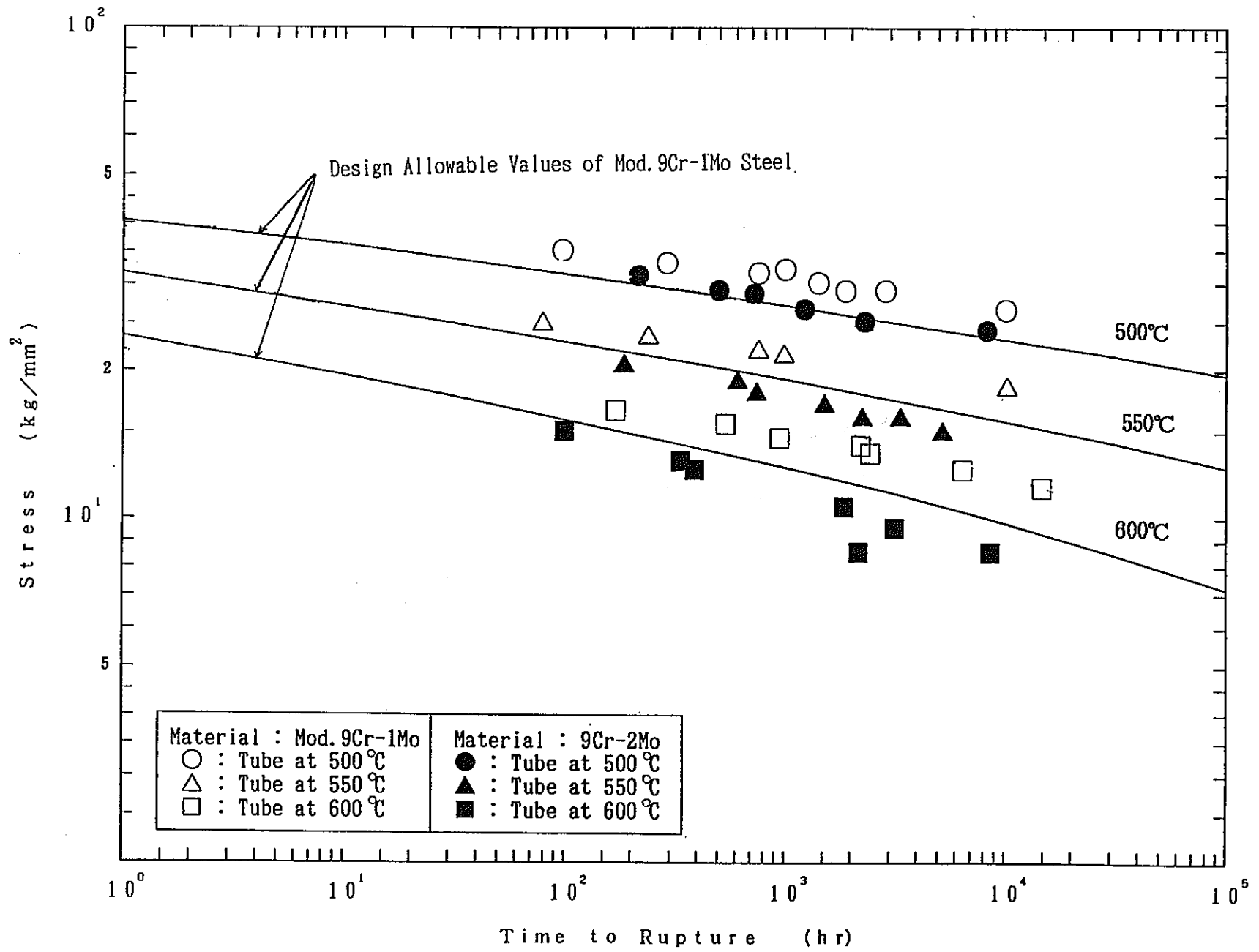


Fig.15 Comparison Between Creep Rupture and Time to Rupture for Mod.9Cr-1Mo and 9Cr-2Mo Steel Tubes.

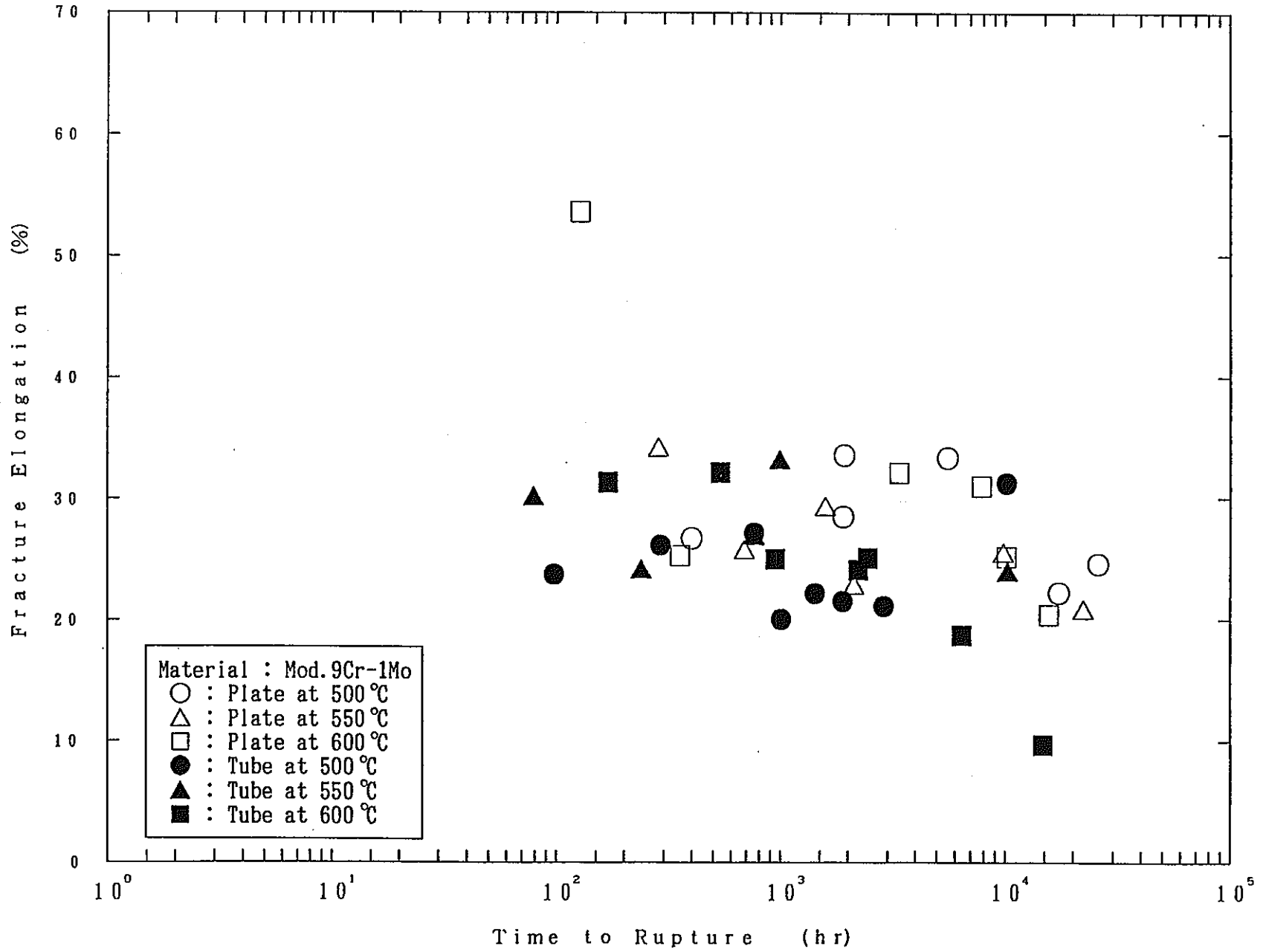


Fig.16 Relation Between Fracture Elongation and Time to Rupture of Mod.9Cr-1Mo Steel Plate and Tube.

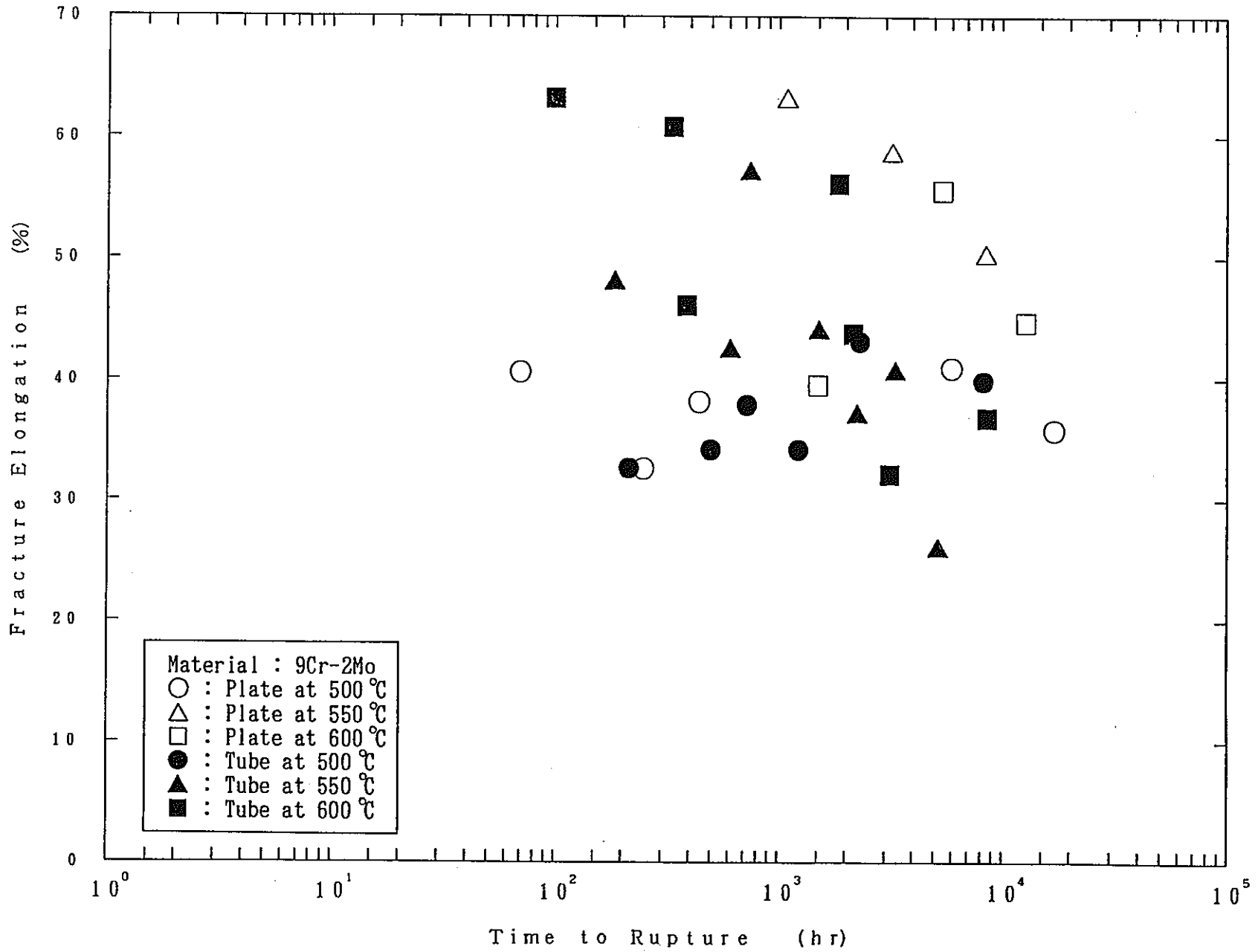


Fig.17 Relation Between Fracture Elongation and Time to Rupture of 9Cr-2Mo Steel Plate and Tube.

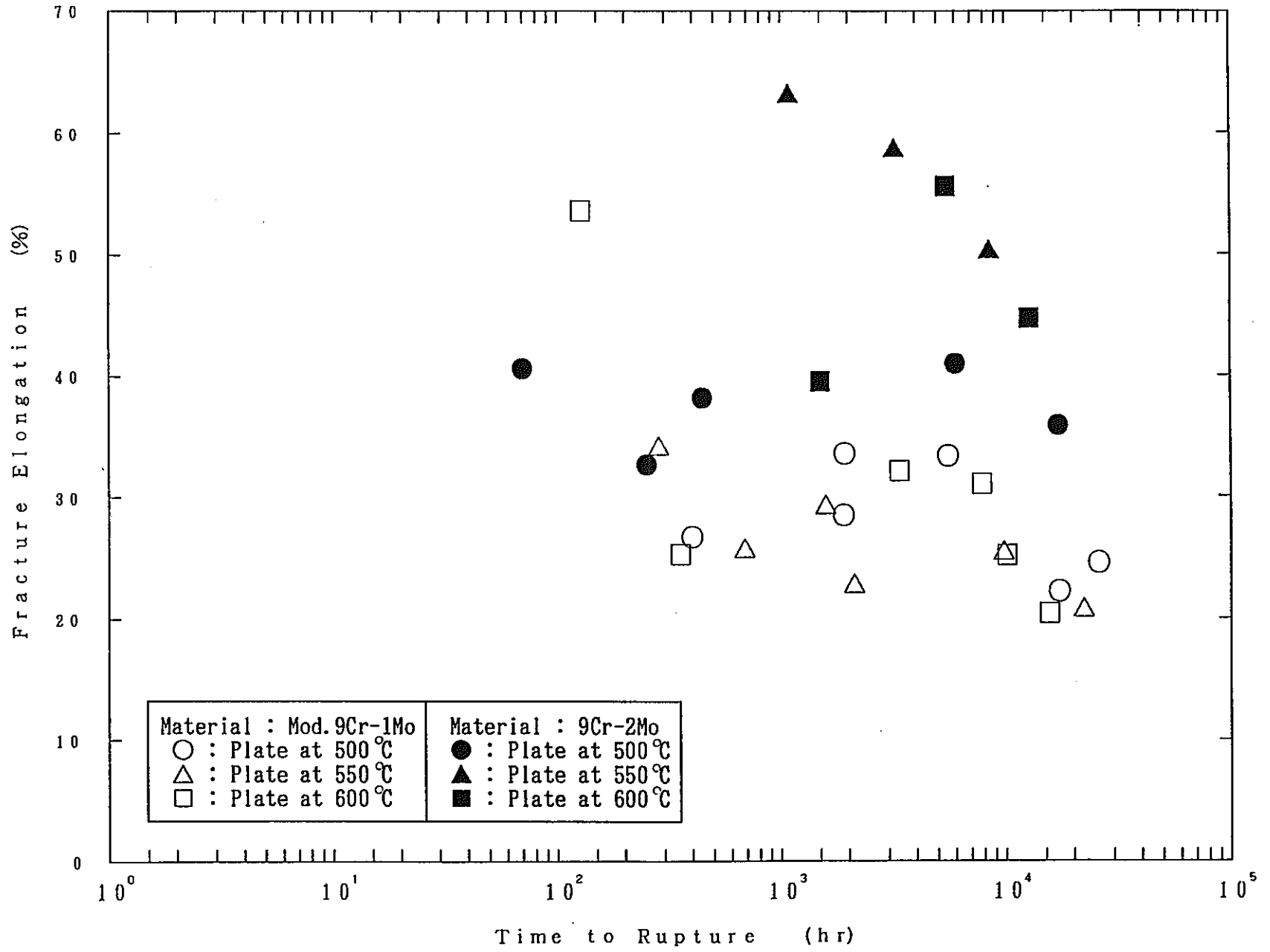


Fig.18 Relation Between Fracture Elongation and Time to Rupture of Mod.9Cr-1Mo and 9Cr-2Mo Steel Plates.

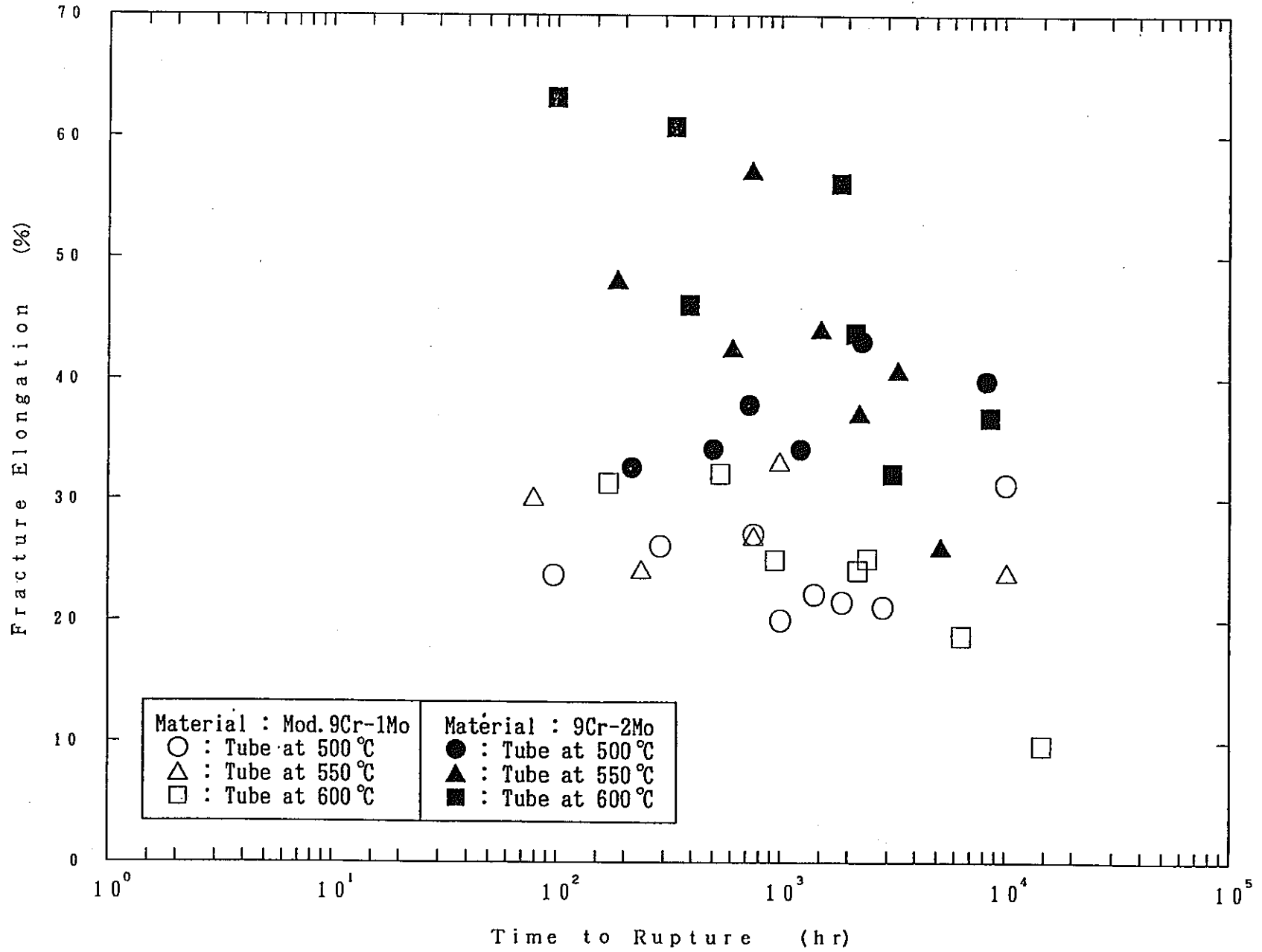


Fig.19 Relation Between Fracture Elongation and Time to Rupture of Mod.9Cr-1Mo and 9Cr-2Mo Steel Tube.

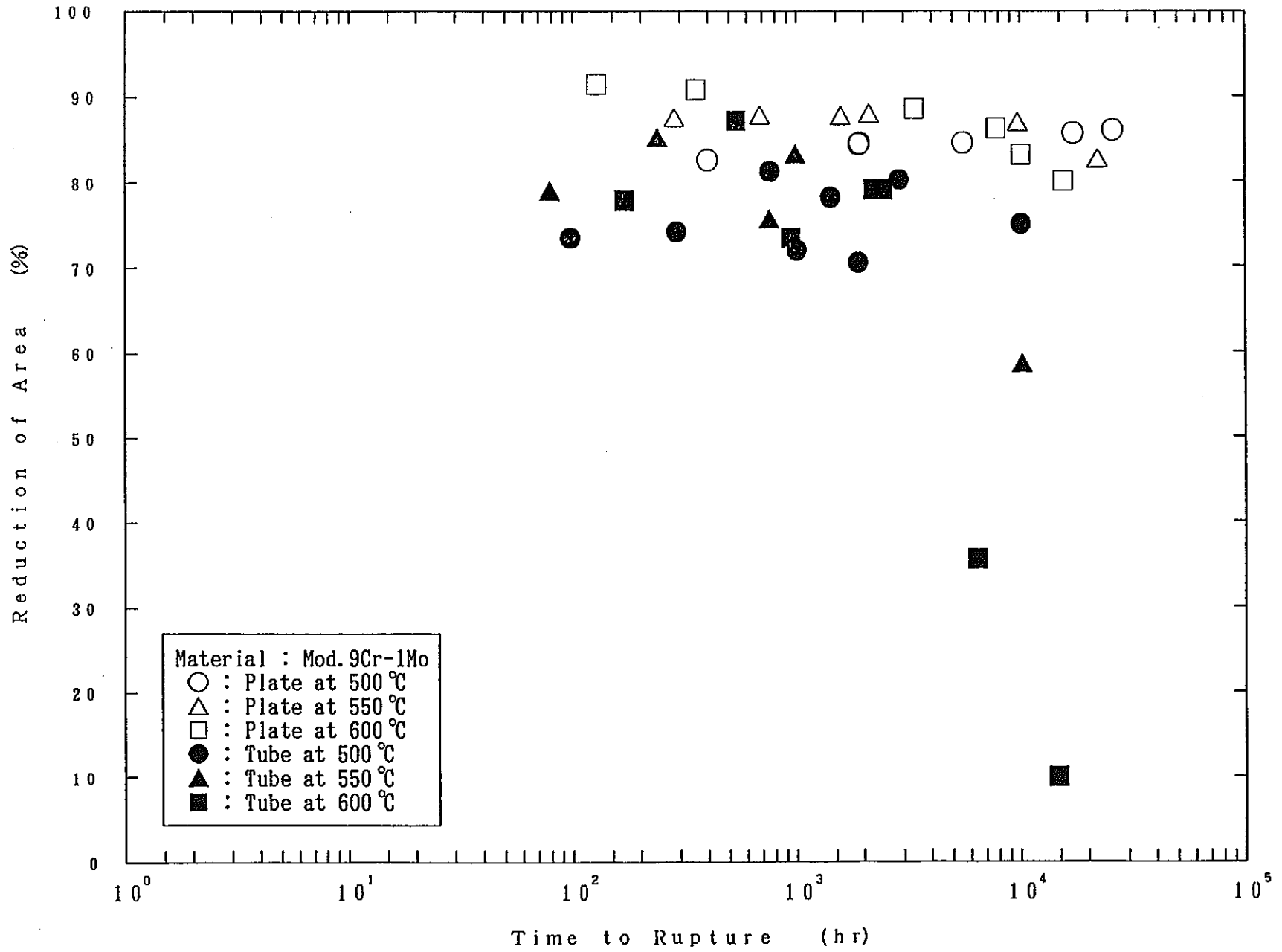


Fig.20 Relation Between Reduction of Area and Time to Rupture of Mod.9Cr-1Mo Steel Plate and Tube.

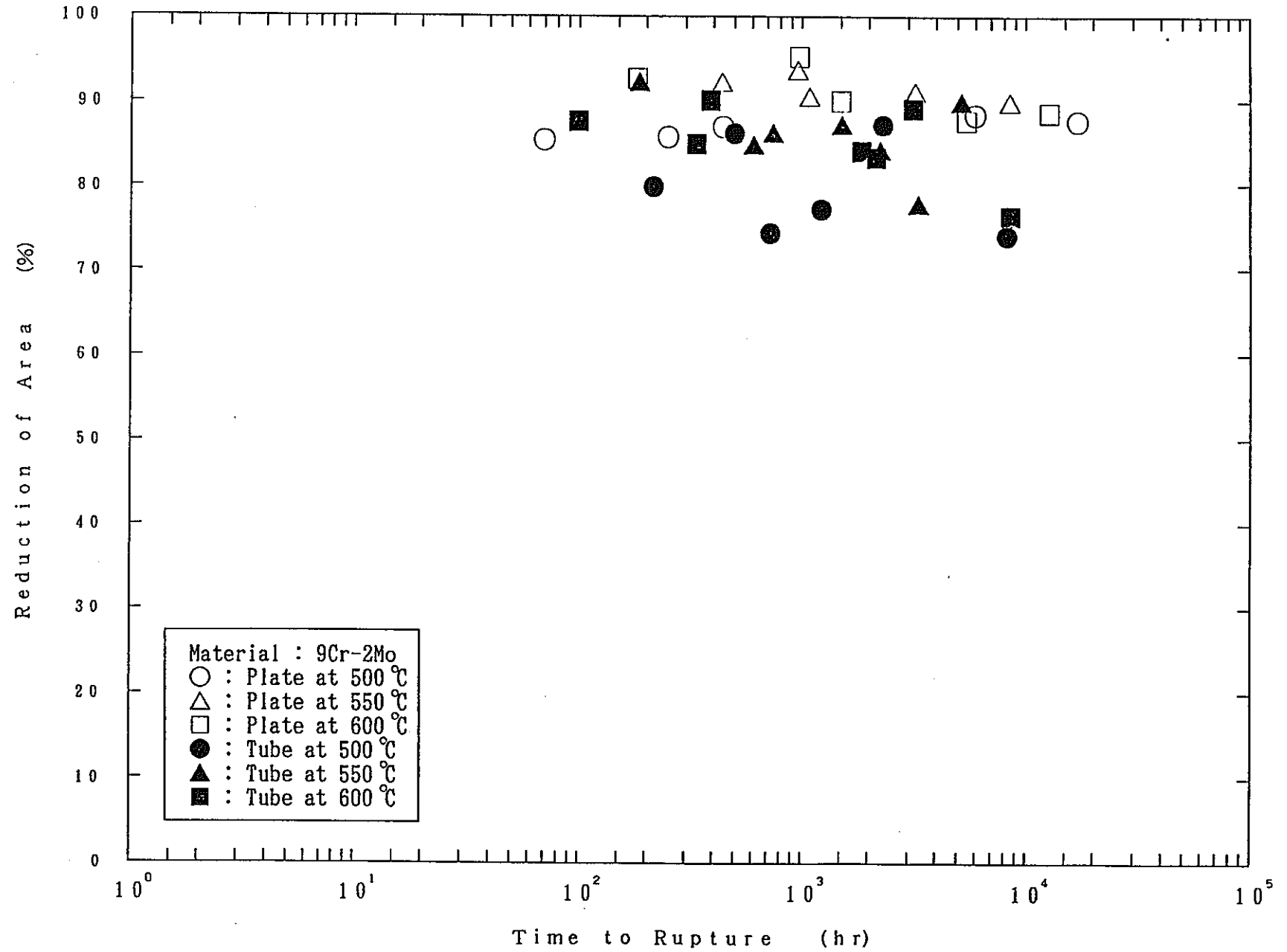


Fig.21 Relation Between Reduction of Area and Time to Rupture of 9Cr-2Mo Steel plate and Tube.

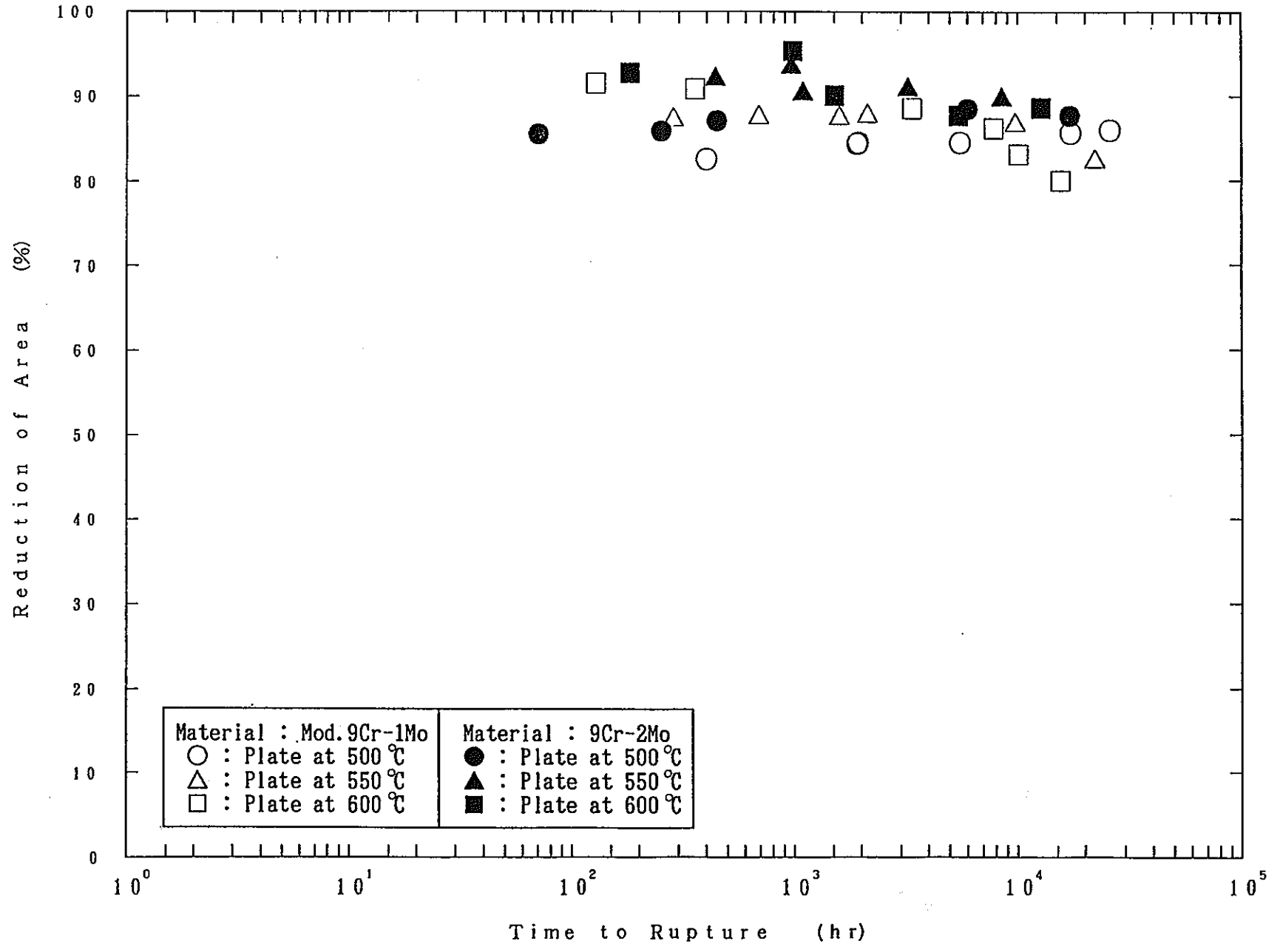


Fig.22 Relation Between Reduction of Area and Time to Rupture of Mod.9Cr-1Mo and 9Cr-2Mo Steel Plate.

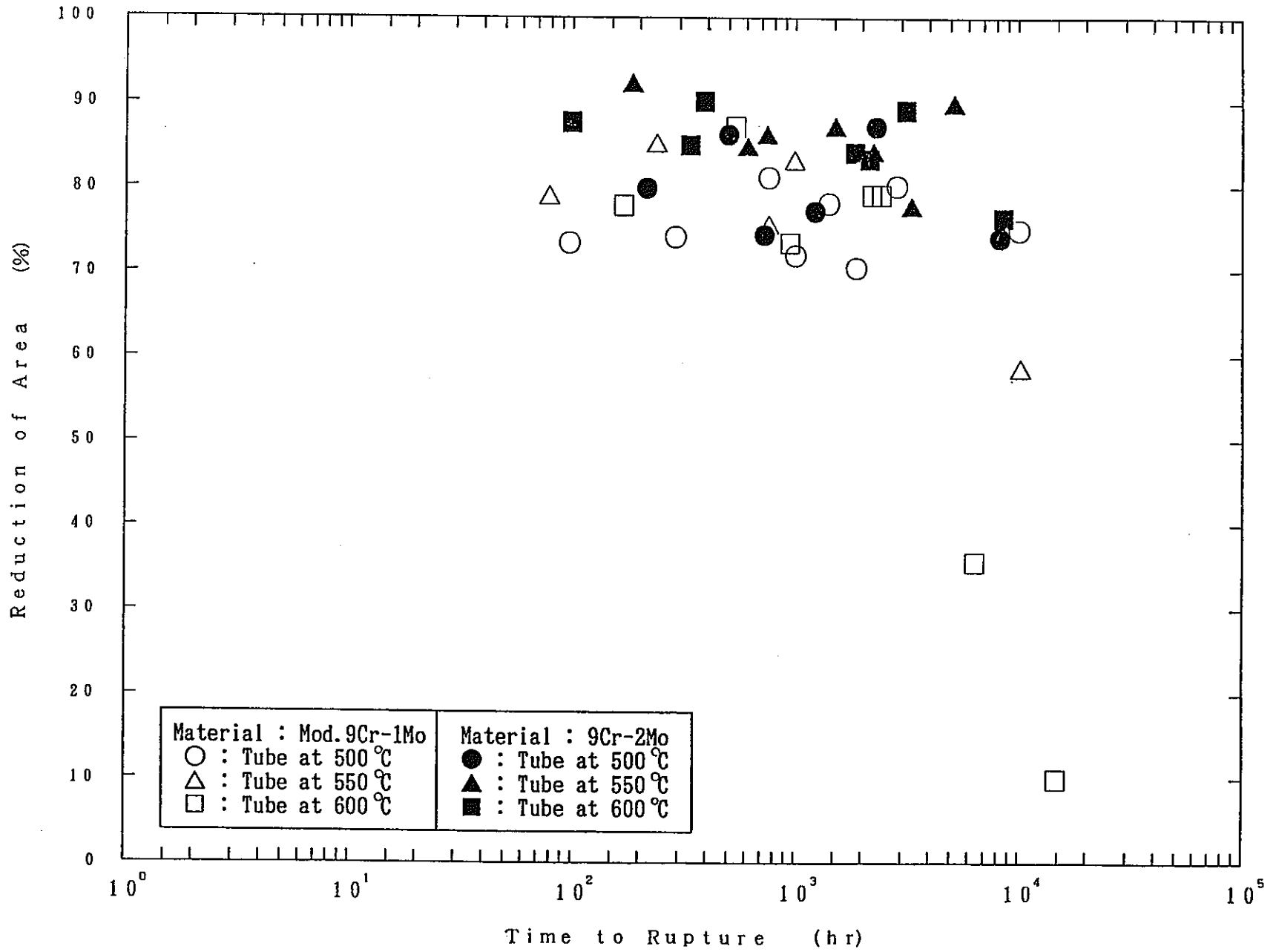


Fig.23 Relation Between Reduction of Area and Time to Rupture of Mod.9Cr-1Mo and 9Cr-2Mo Steel Tube.

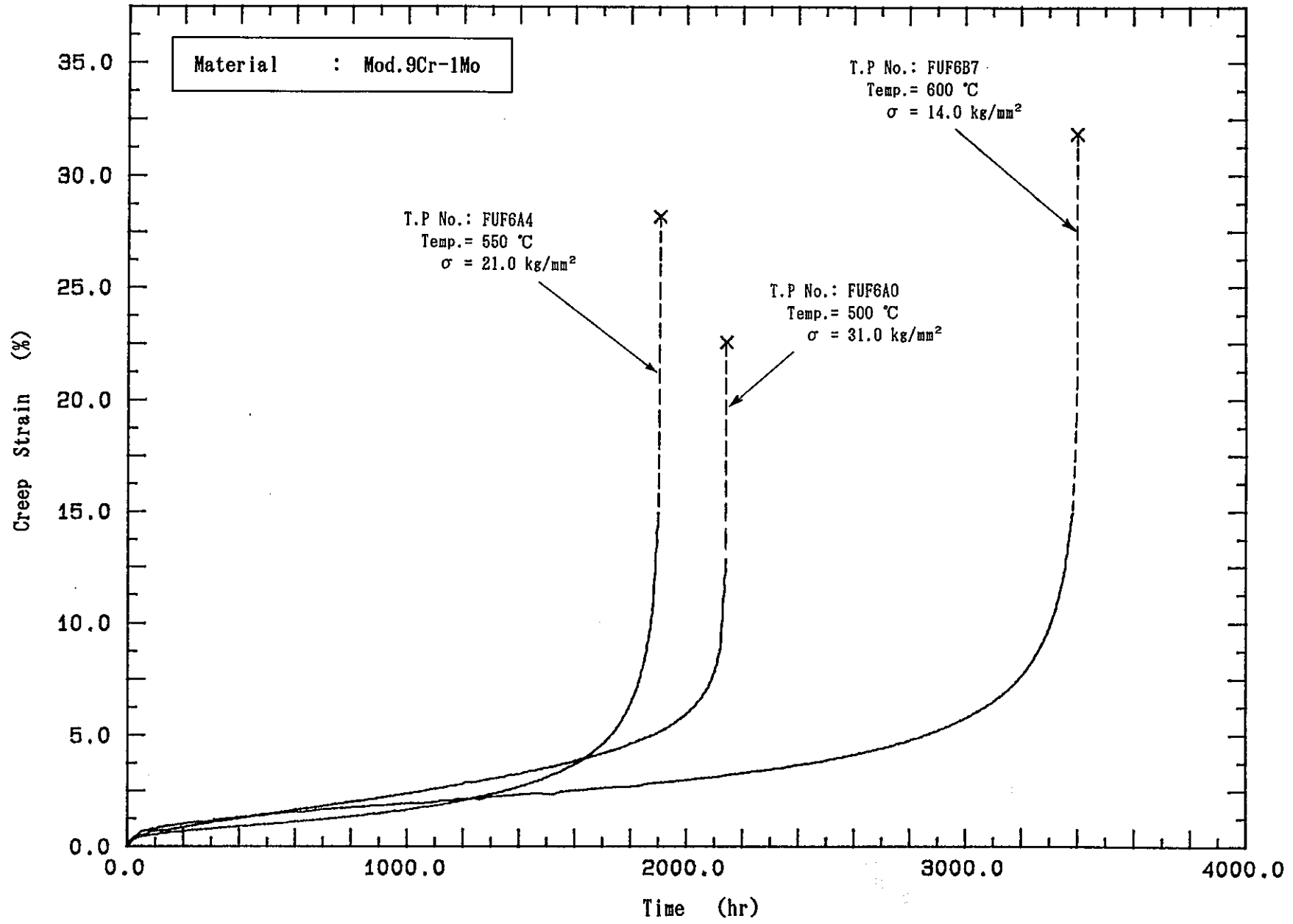


Fig.24 Comparison of Creep Curve for Mod.9Cr-1Mo Steel Plate at Various Temperature(1).

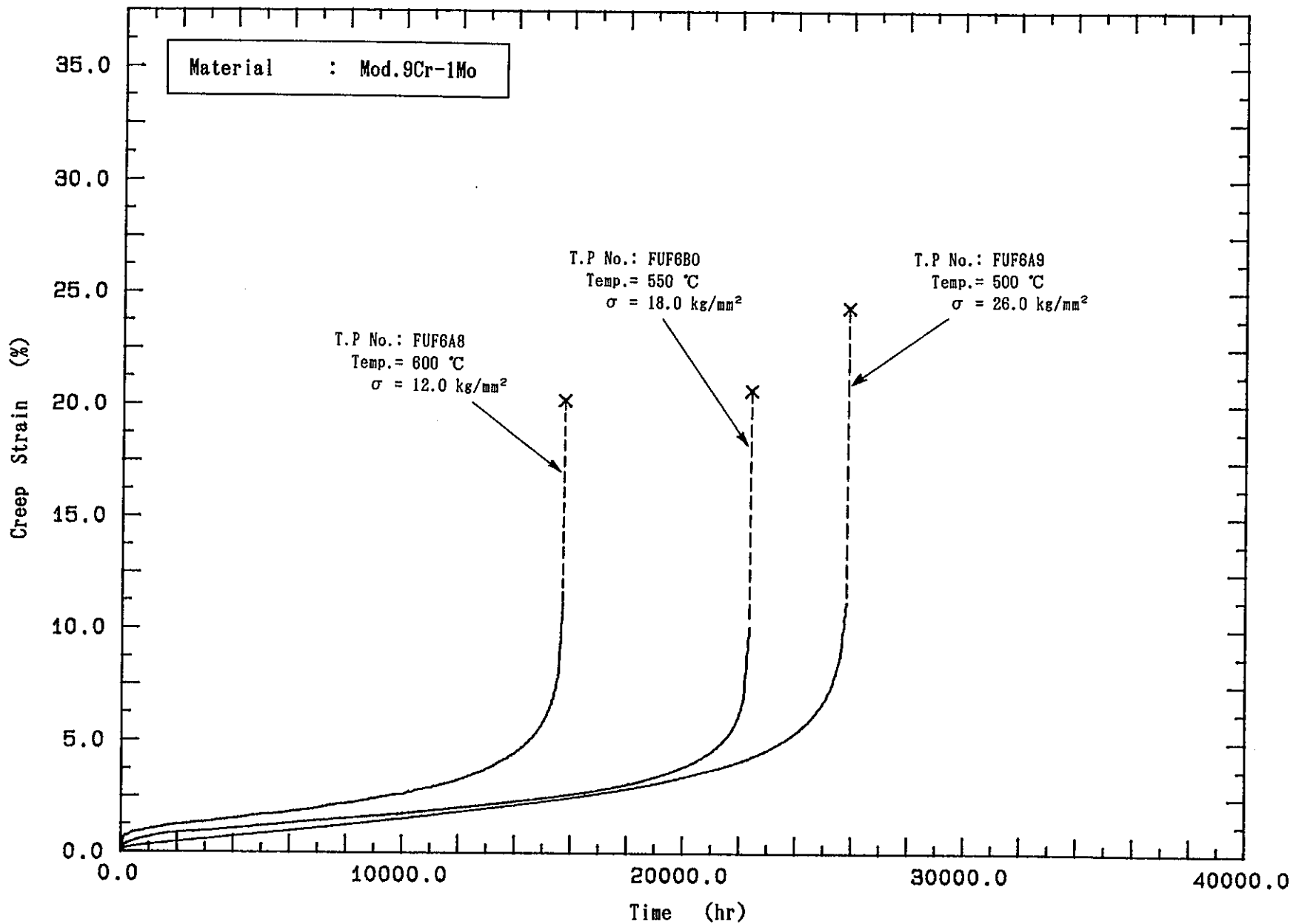


Fig.25 Comparison of Creep Curve for Mod.9Cr-1Mo Steel Plate at Various Temperature(2).

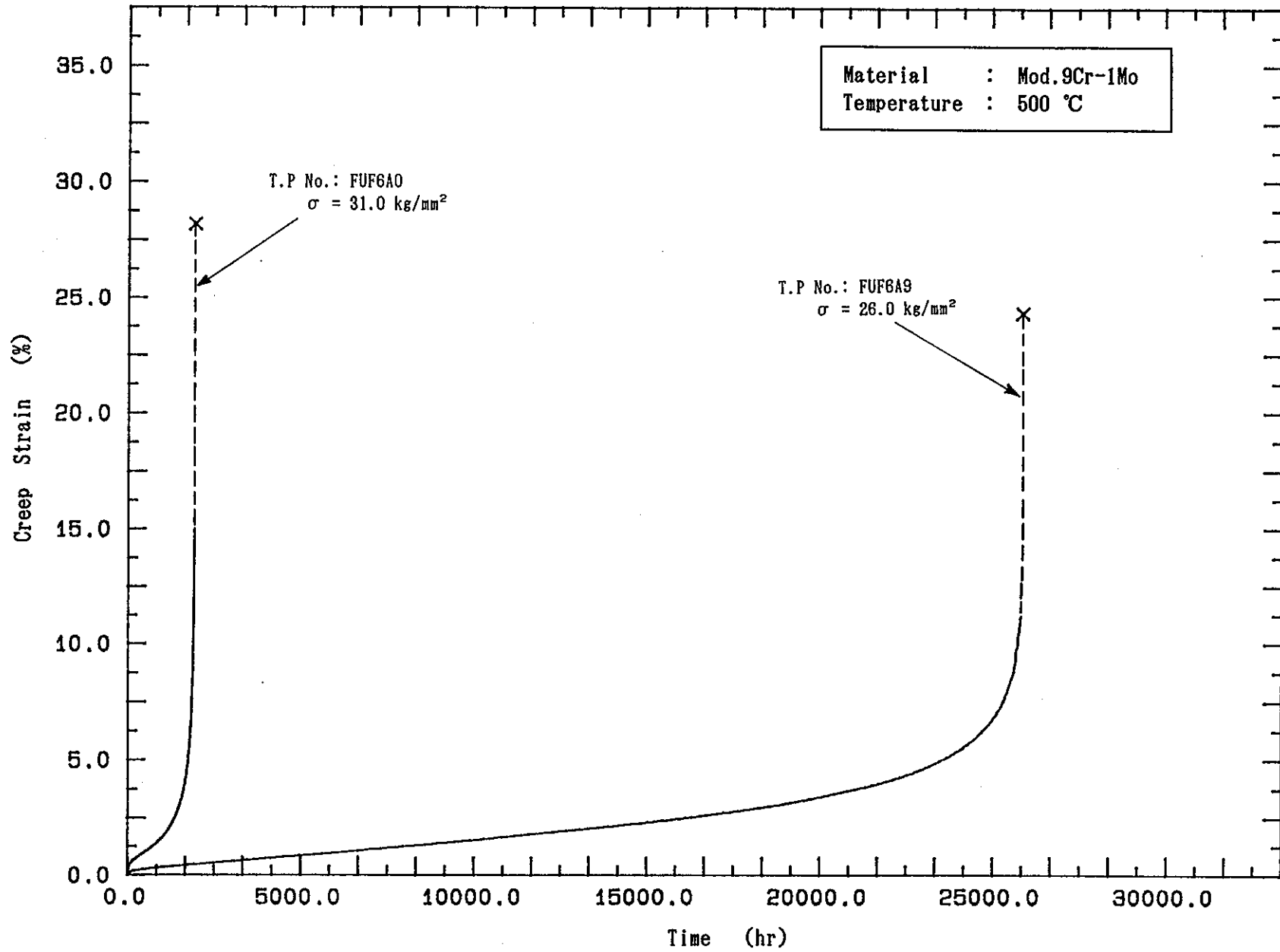


Fig.26 Comparison of Creep Curve for Mod.9Cr-1Mo Steel Plate at 500°C.

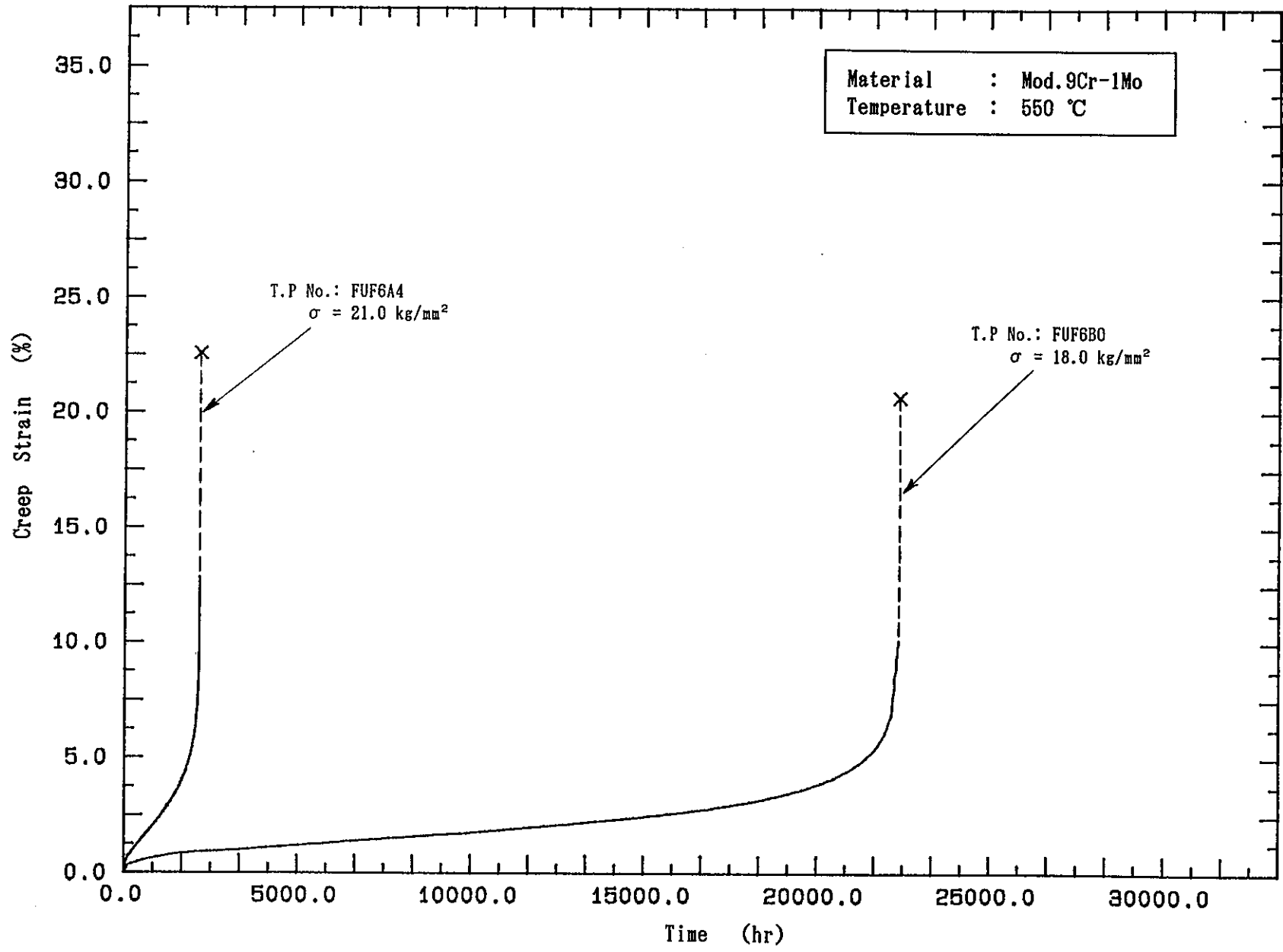


Fig.27 Comparison of Creep Curve for Mod.9Cr-1Mo Steel Plate at 550°C.

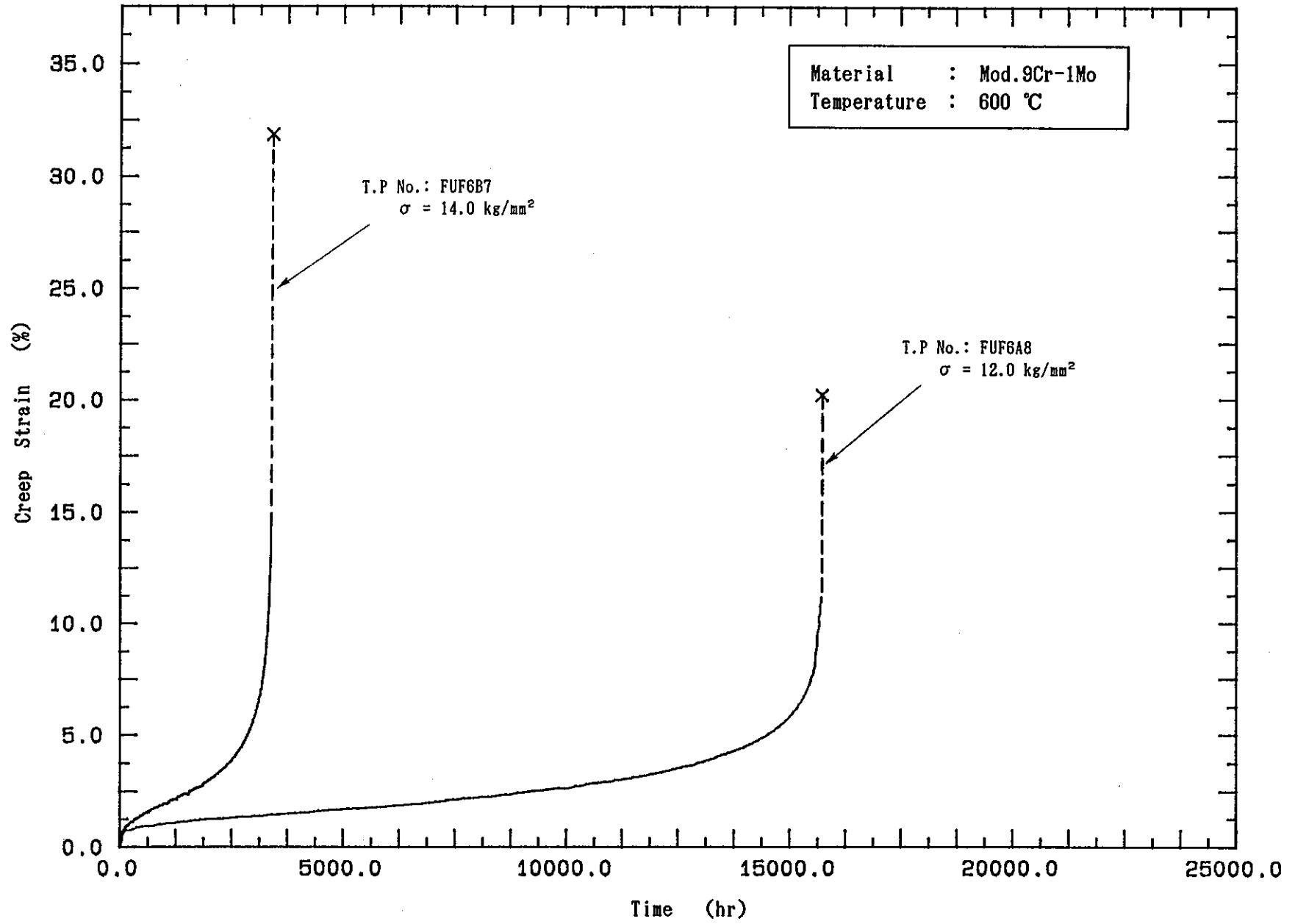


Fig.28 Comparison of Creep Curve for Mod.9Cr-1Mo Steel Plate at 600°C.

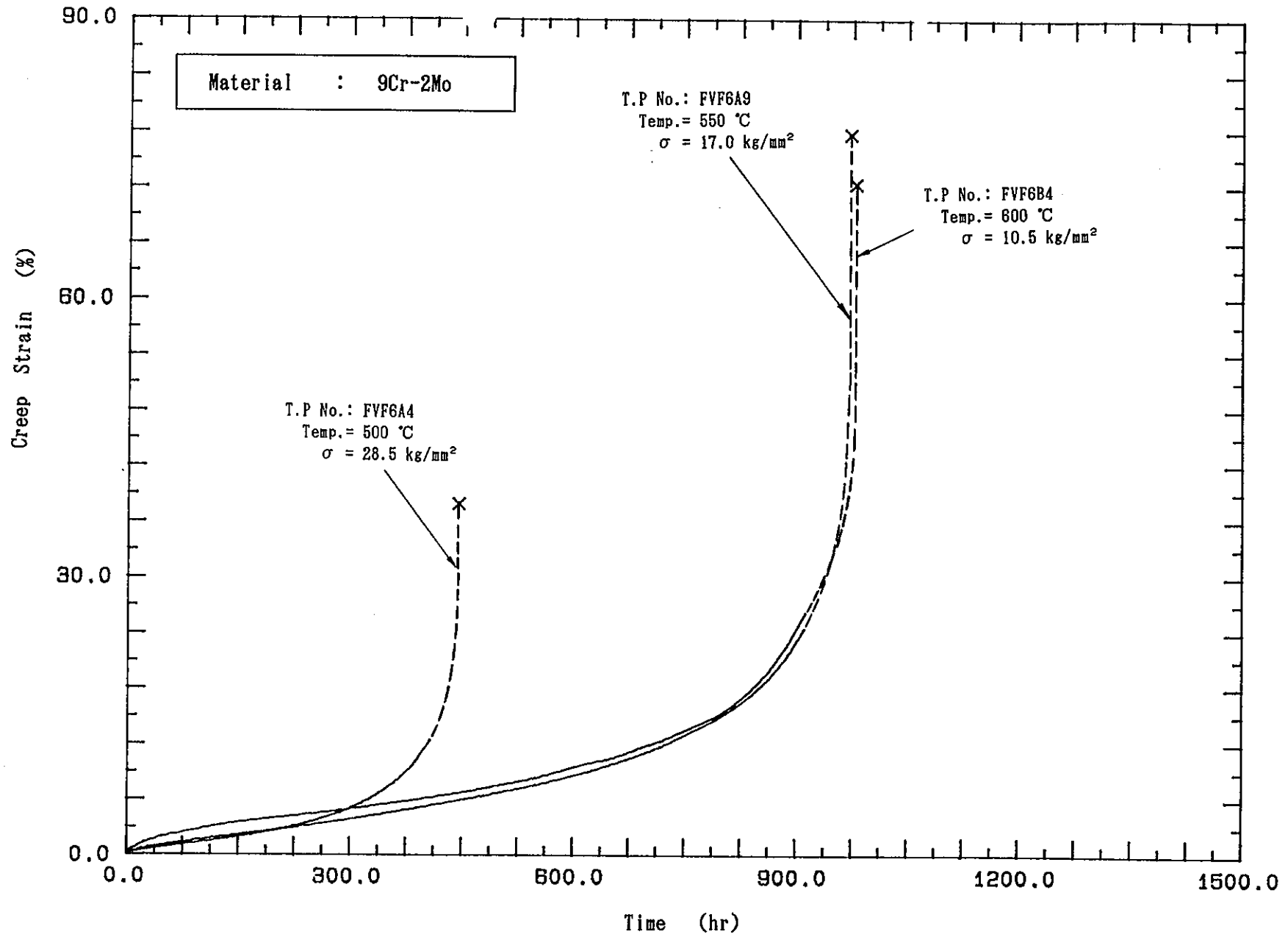


Fig.29 Comparison of Creep Curve for 9Cr-2Mo Steel Plate at Various Temperature(1).

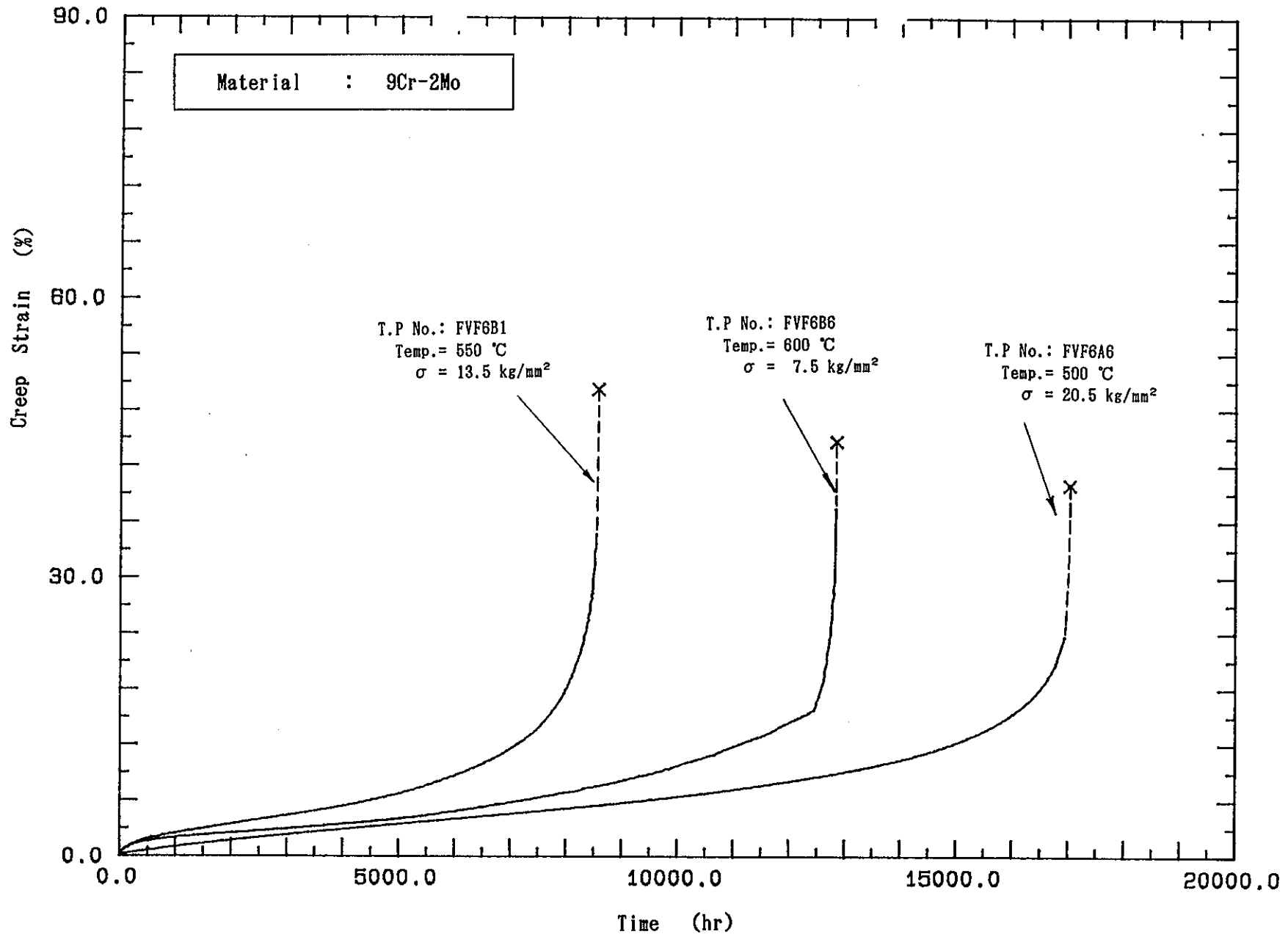


Fig.30 Comparison of Creep Curve for 9Cr-2Mo Steel Plate at Various Temperature(2).

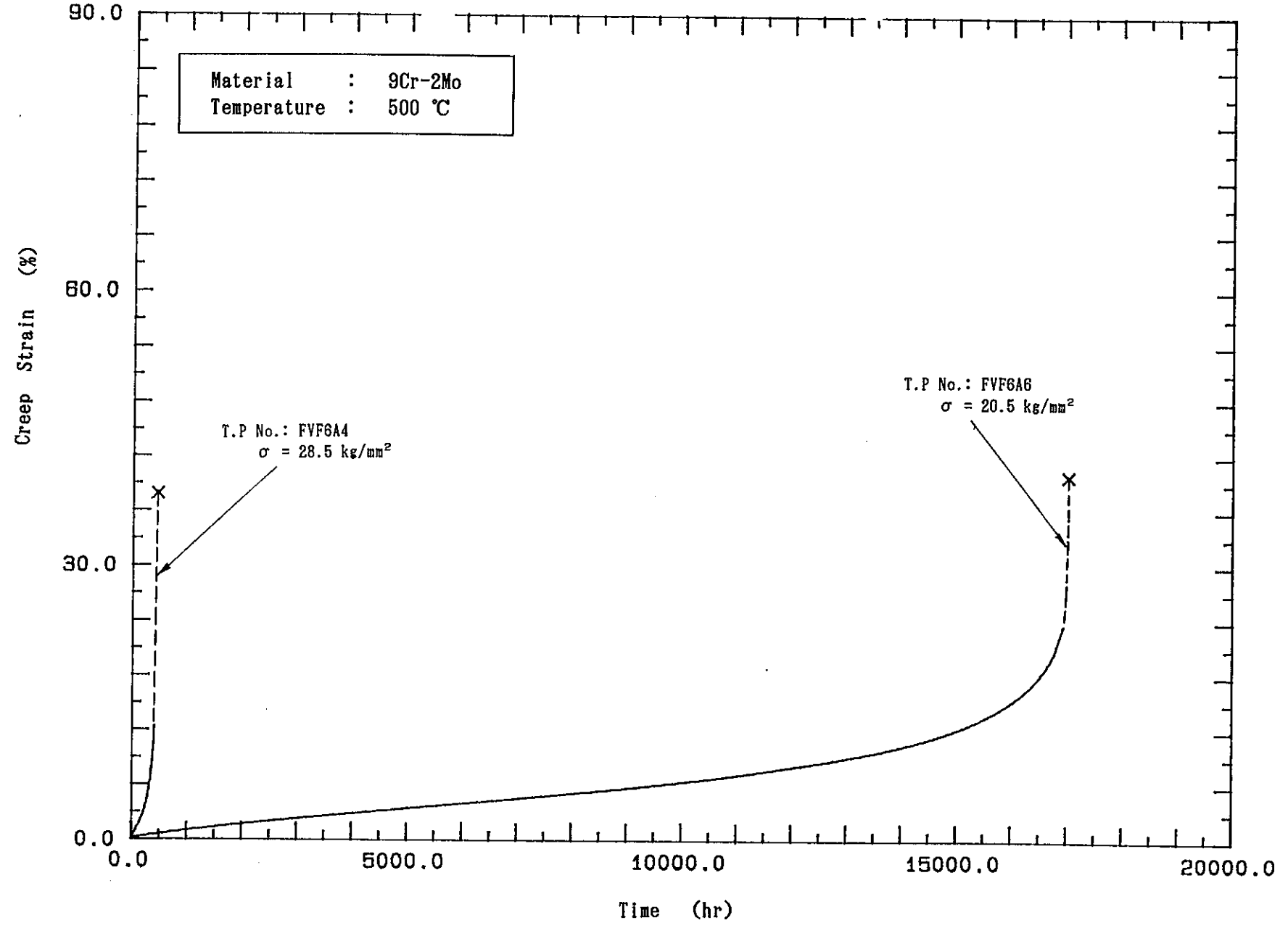


Fig.31 Comparison of Creep Curve for 9Cr-2Mo Steel Plate at 500°C.

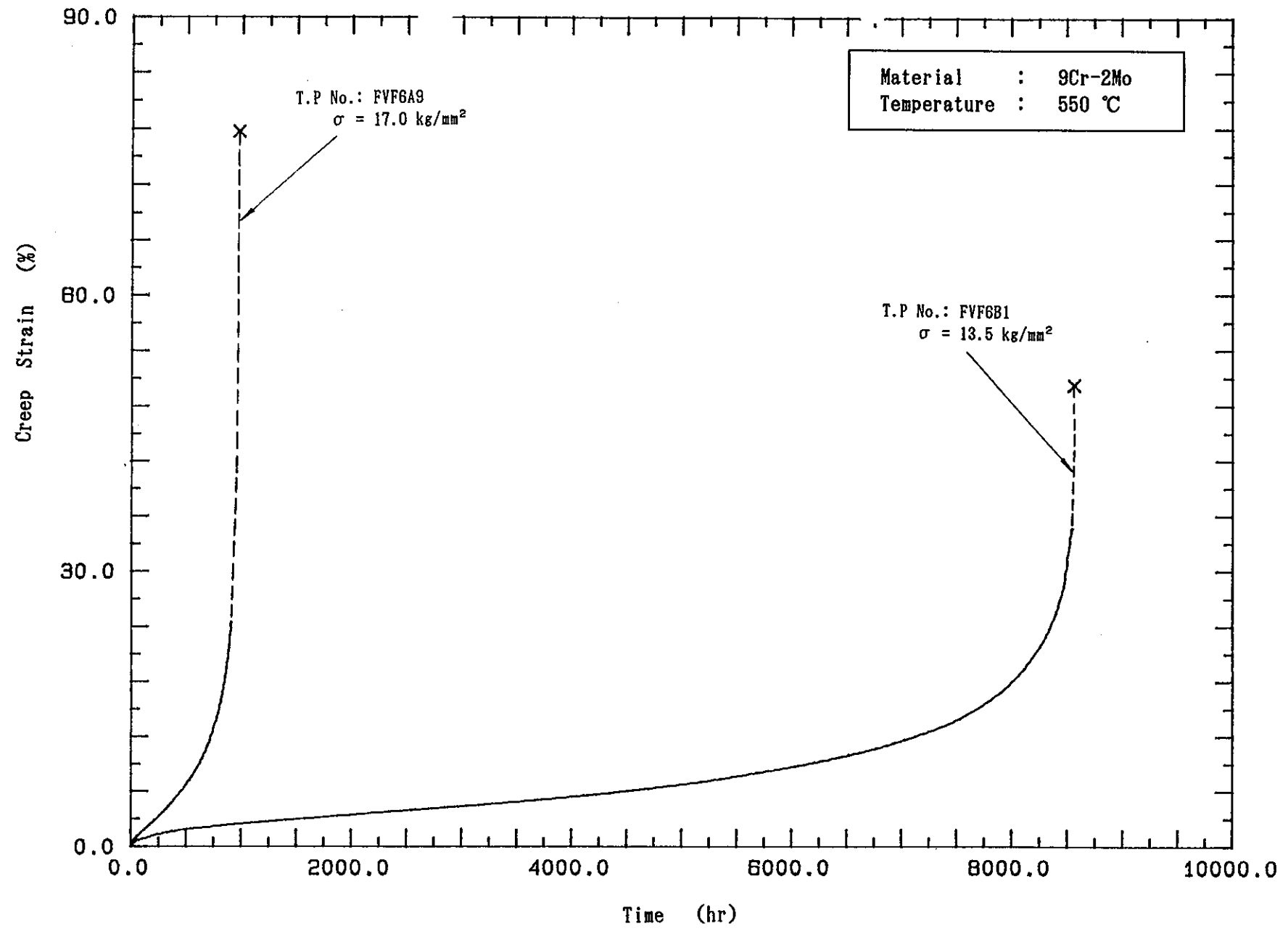


Fig.32 Comparison of Creep Curve for 9Cr-2Mo Steel Plate at 550°C.

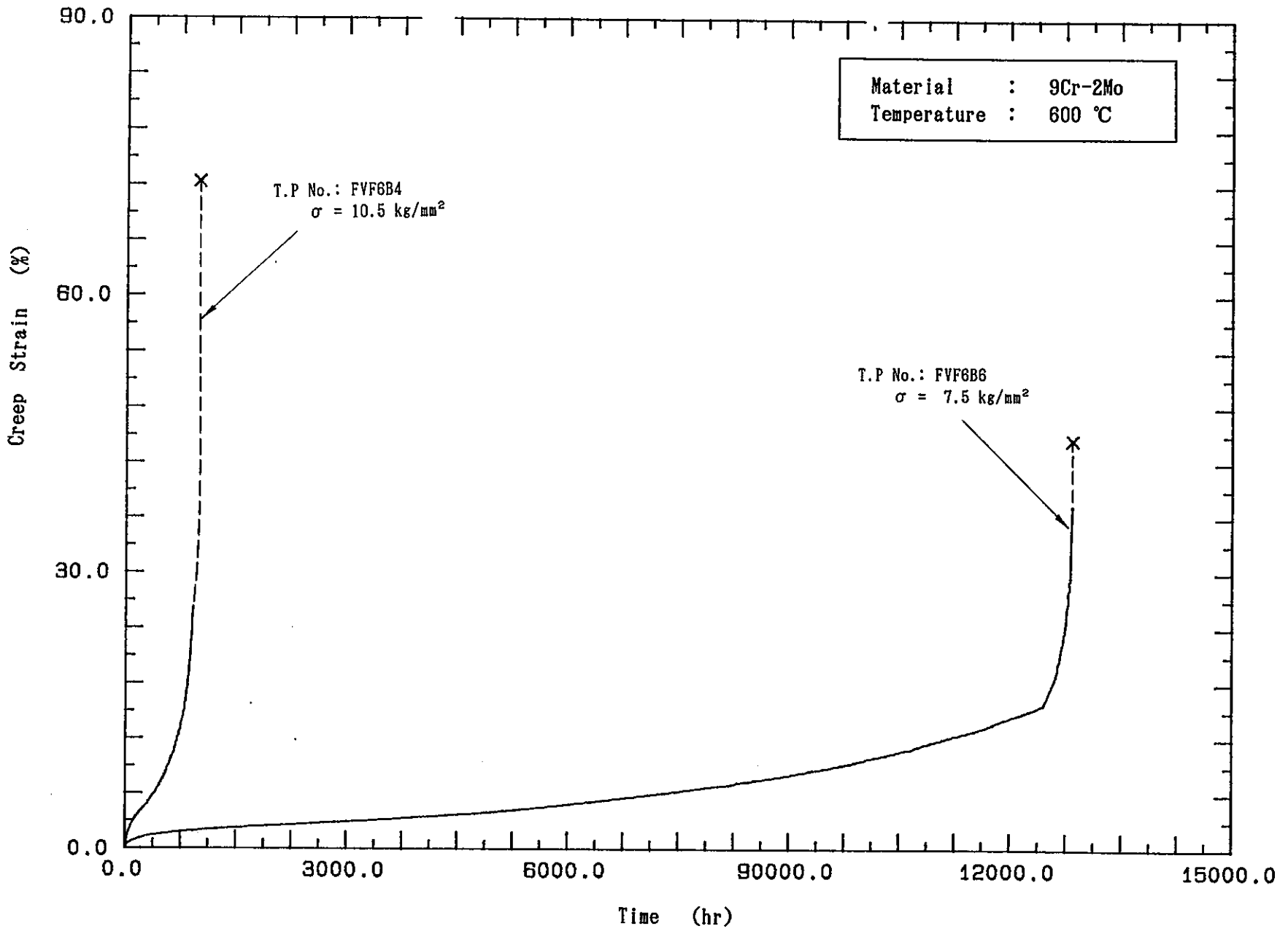


Fig.33 Comparison of Creep Curve for 9Cr-2Mo Steel Plate at 600°C.

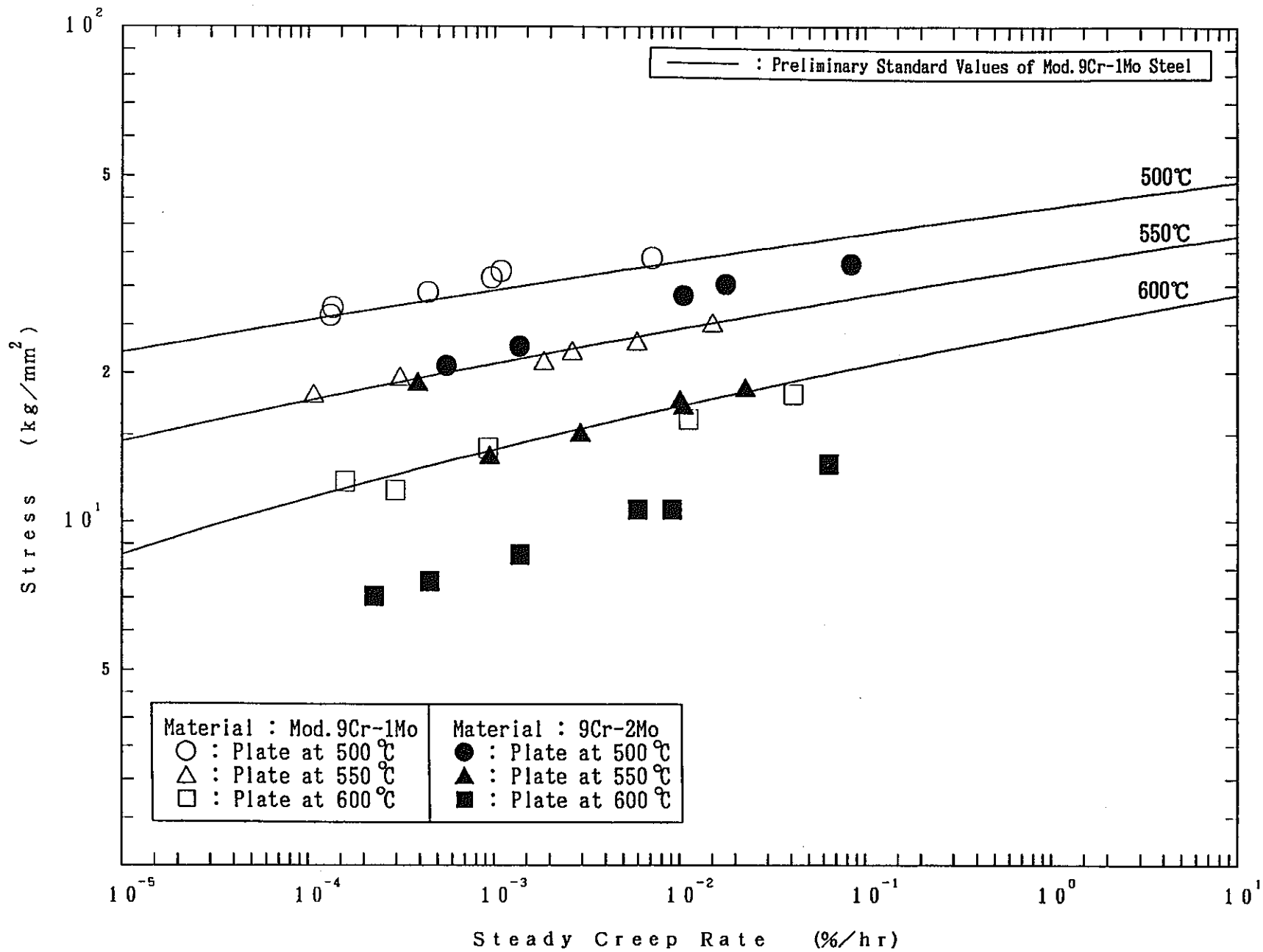


Fig.34 Comparison of Steady Creep Rate of Mod.9Cr-1Mo with 9Cr-2Mo Steels.

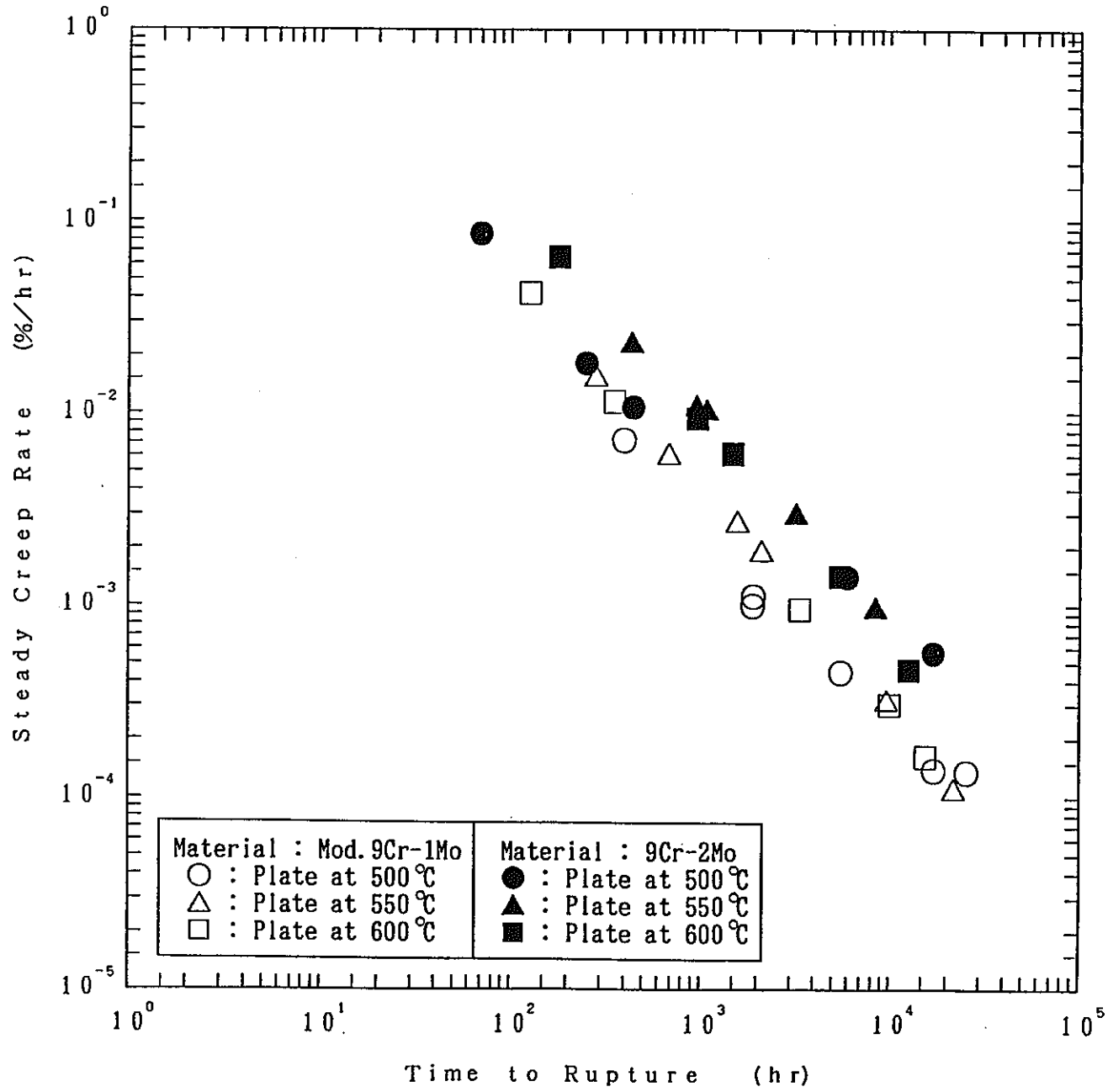


Fig.35 Relation of Steady Creep Rate with Time to Rupture for Mod.9Cr-1Mo and 9Cr-2Mo Steels.

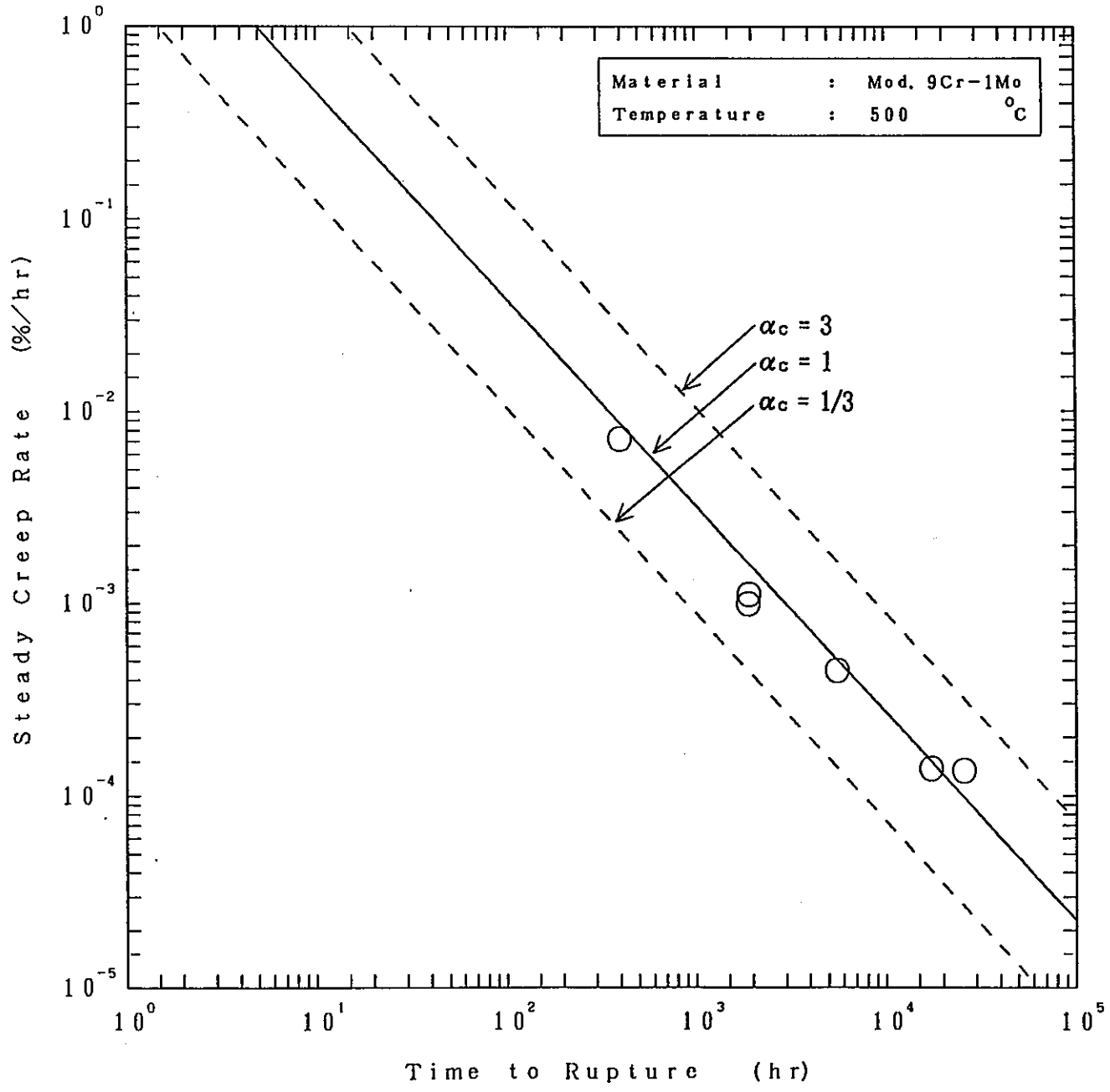


Fig.36 Relation of Steady Creep Rate with Time to Rupture for Mod.9Cr-1Mo Steel.(500°C)

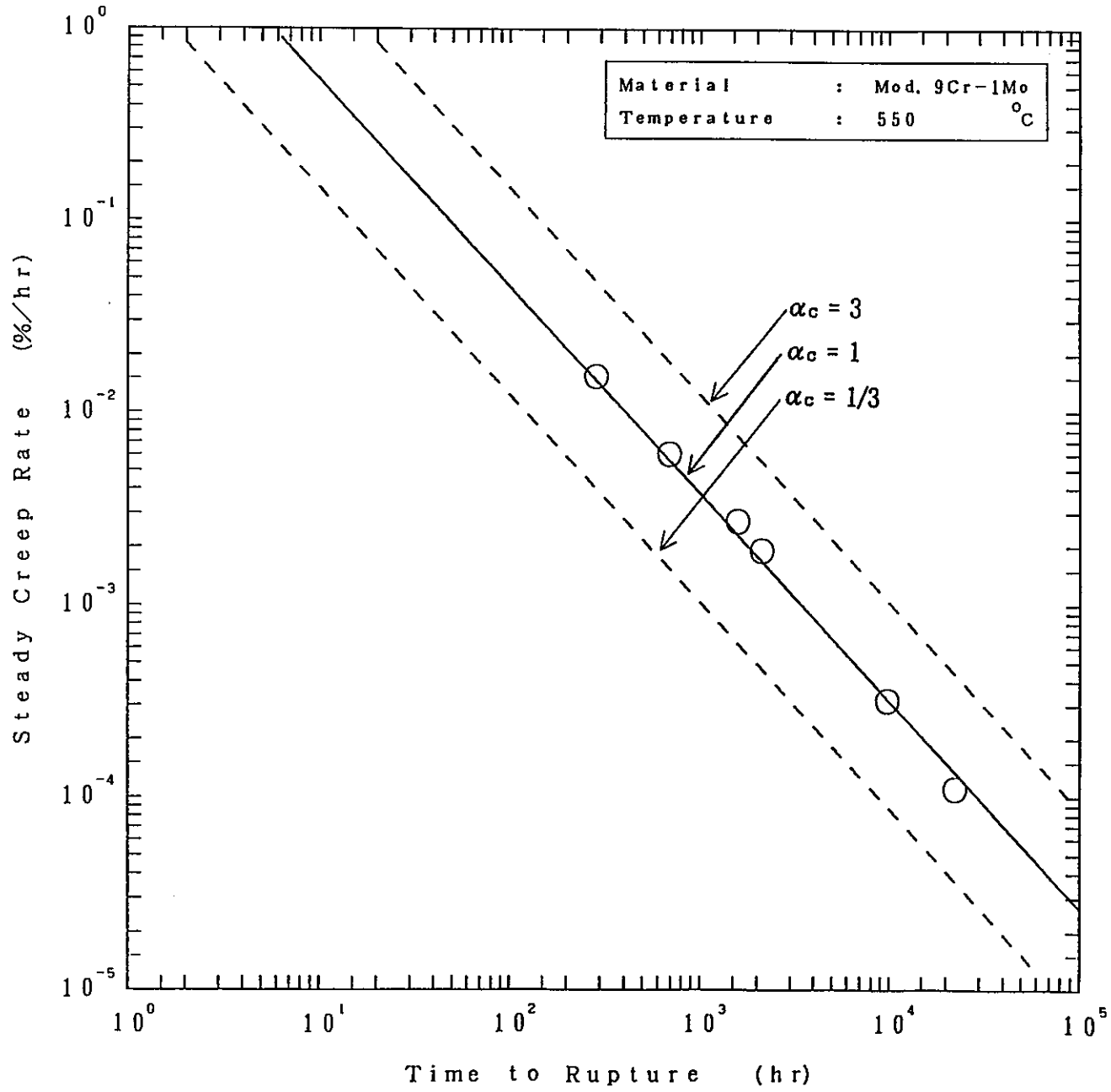


Fig.37 Relation of Steady Creep Rate with Time to Rupture for Mod.9Cr-1Mo Steel.(550°C)

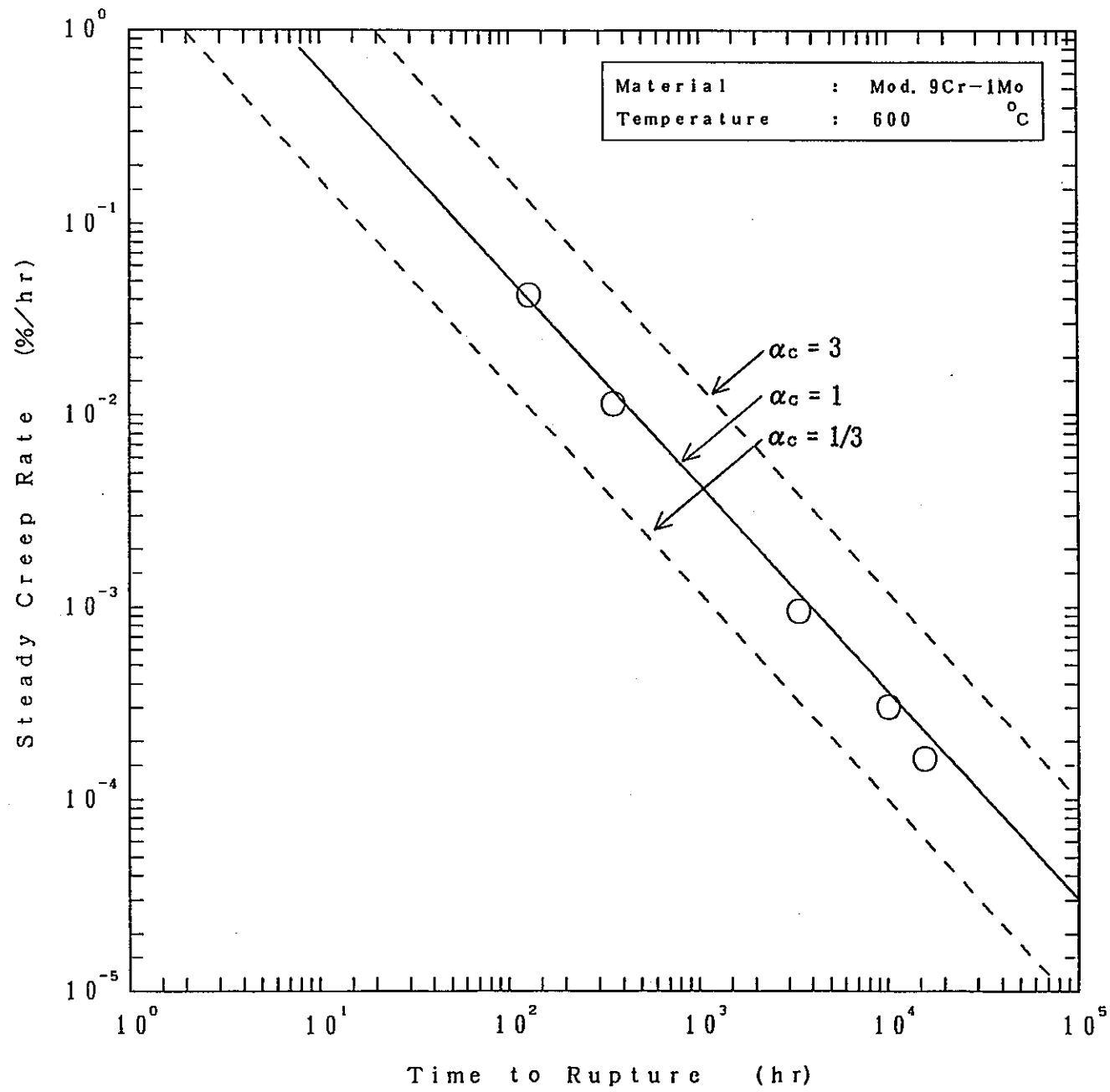


Fig.38 Relation of Steady Creep Rate with Time to Rupture for Mod.9Cr-1Mo Steel.(600°C)

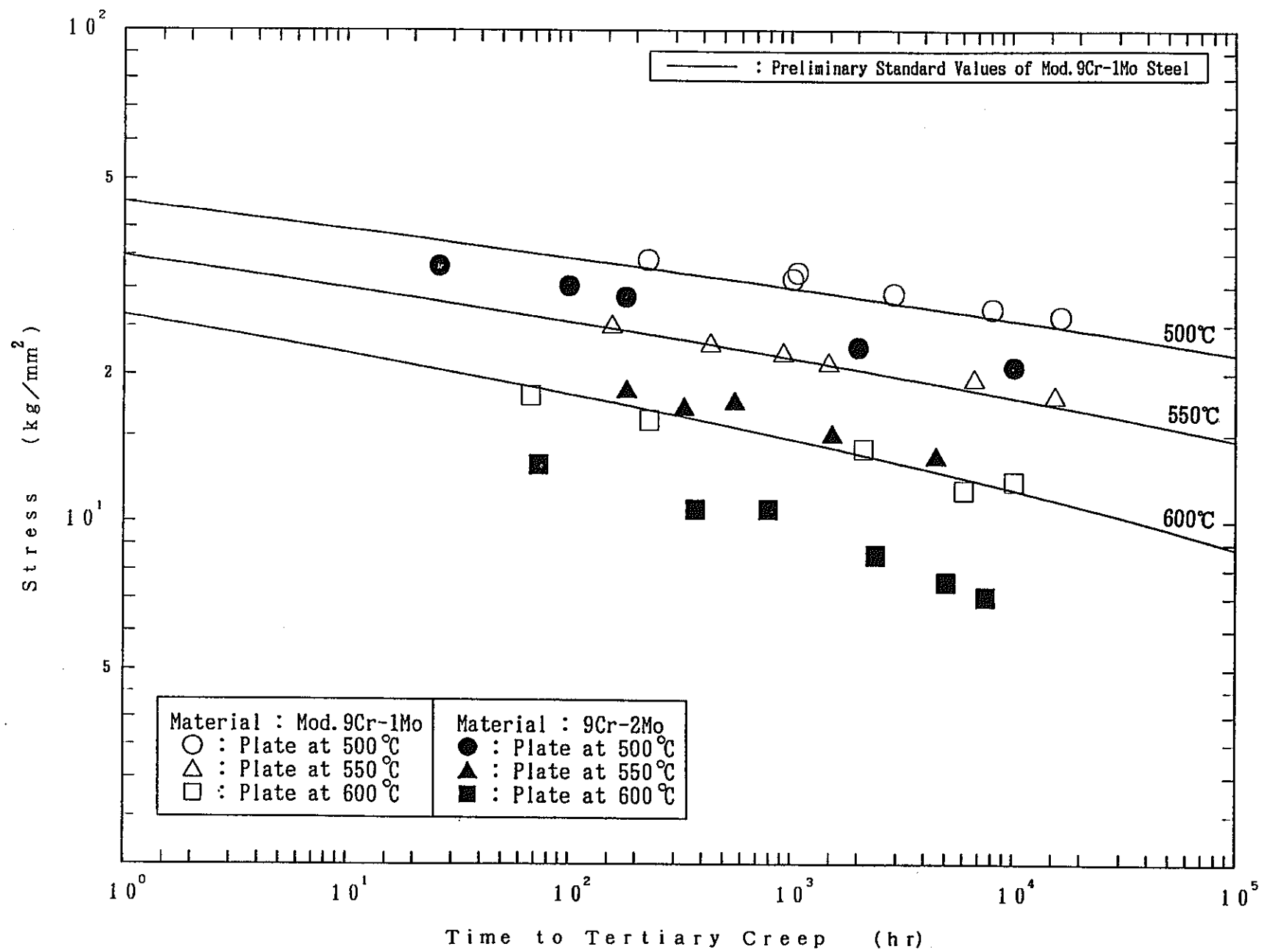


Fig.39 Relation of Stress with Time to Tertiary Creep for Mod.9Cr-1Mo and 9Cr-2Mo Steels.

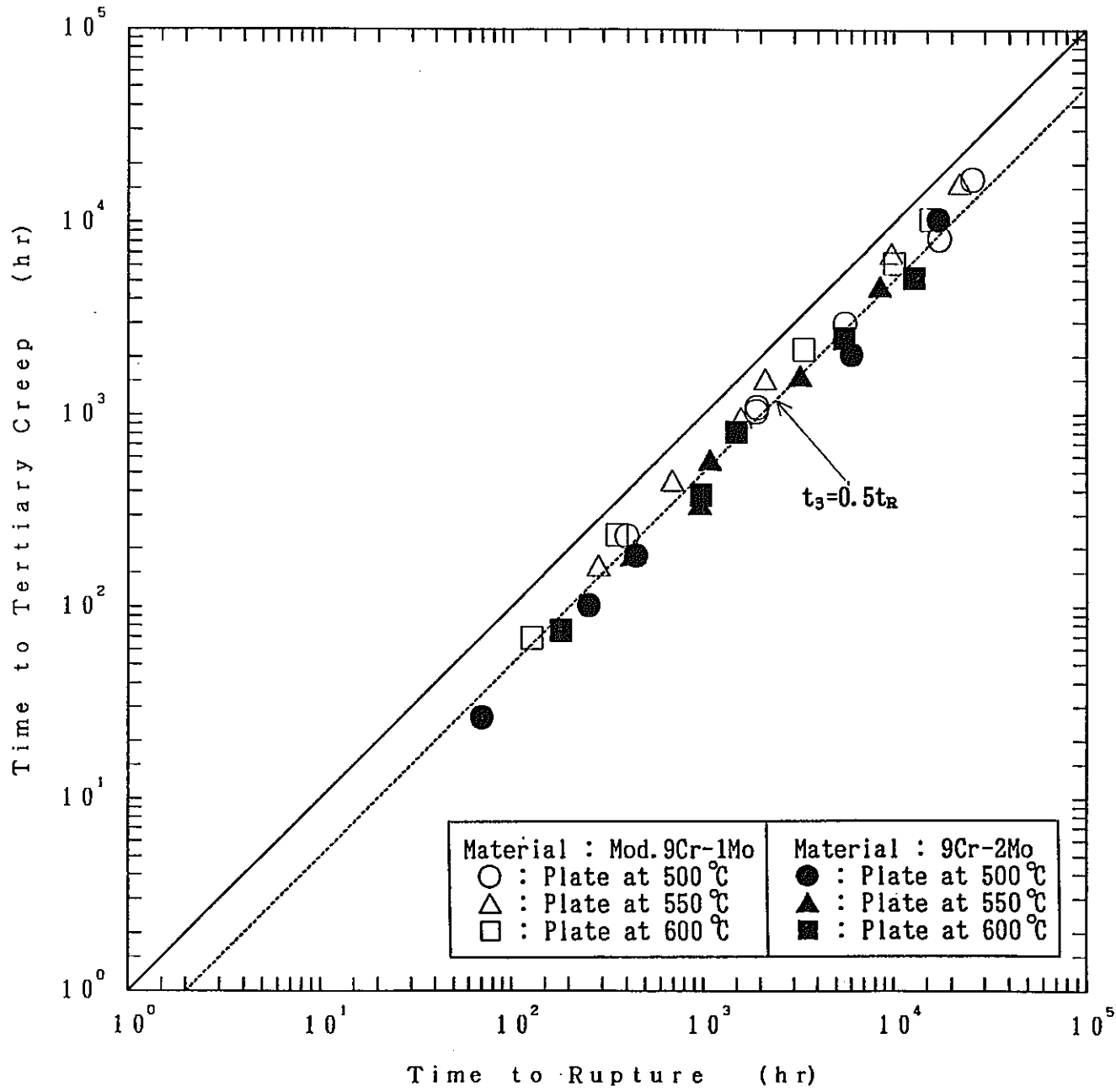


Fig. 40 Time to Tertiary Creep of Mod.9Cr-1Mo and 9Cr-2Mo Steels.

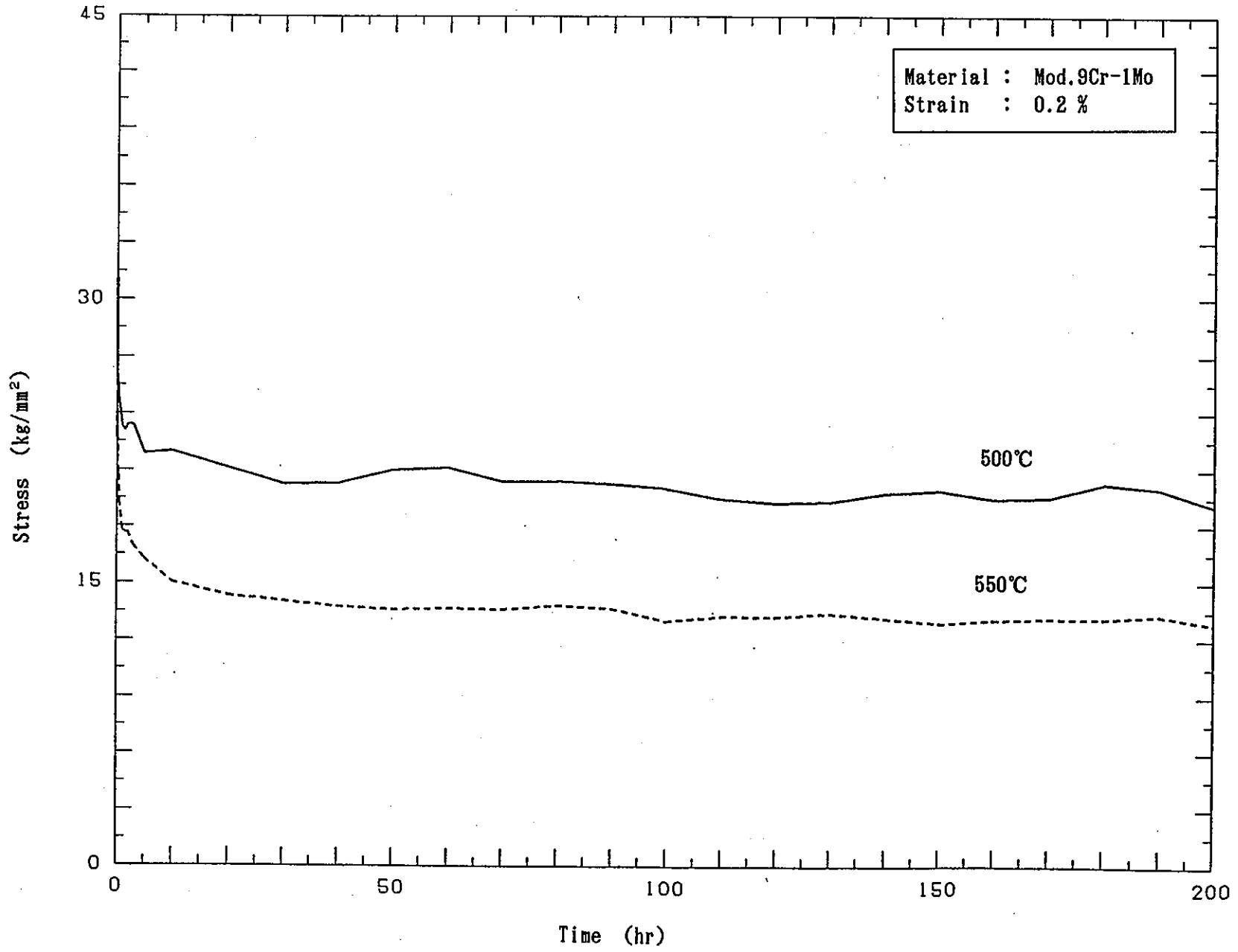


Fig.41 Comparison Stress Relaxation Curves at 0.2% Strain of Various Test Temperature for Mod.9Cr-1Mo Steel(1).

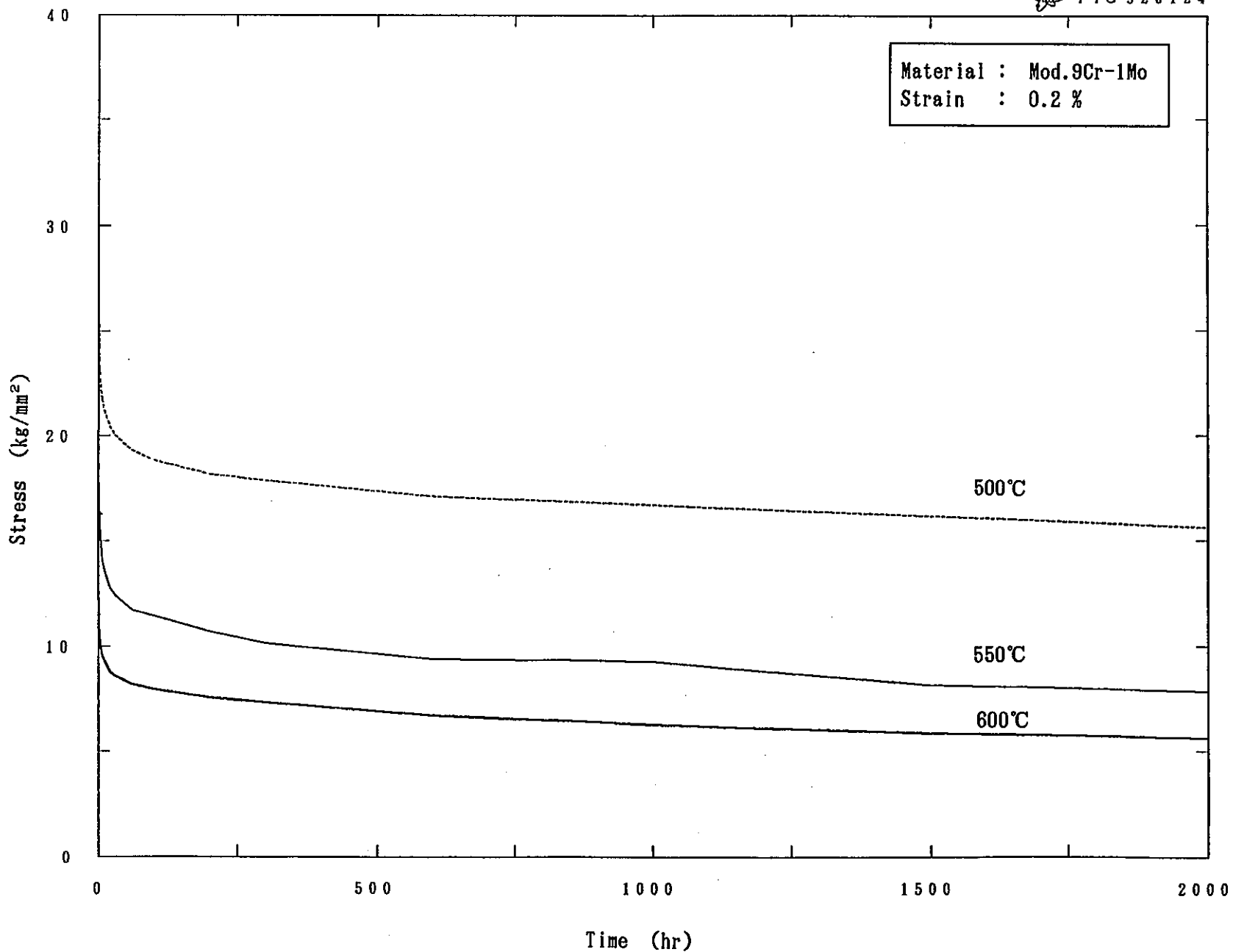


Fig.42 Comparison Stress Relaxation Curves at 0.2% Strain of Various Test Temperature for Mod.9Cr-1Mo Steel(2).

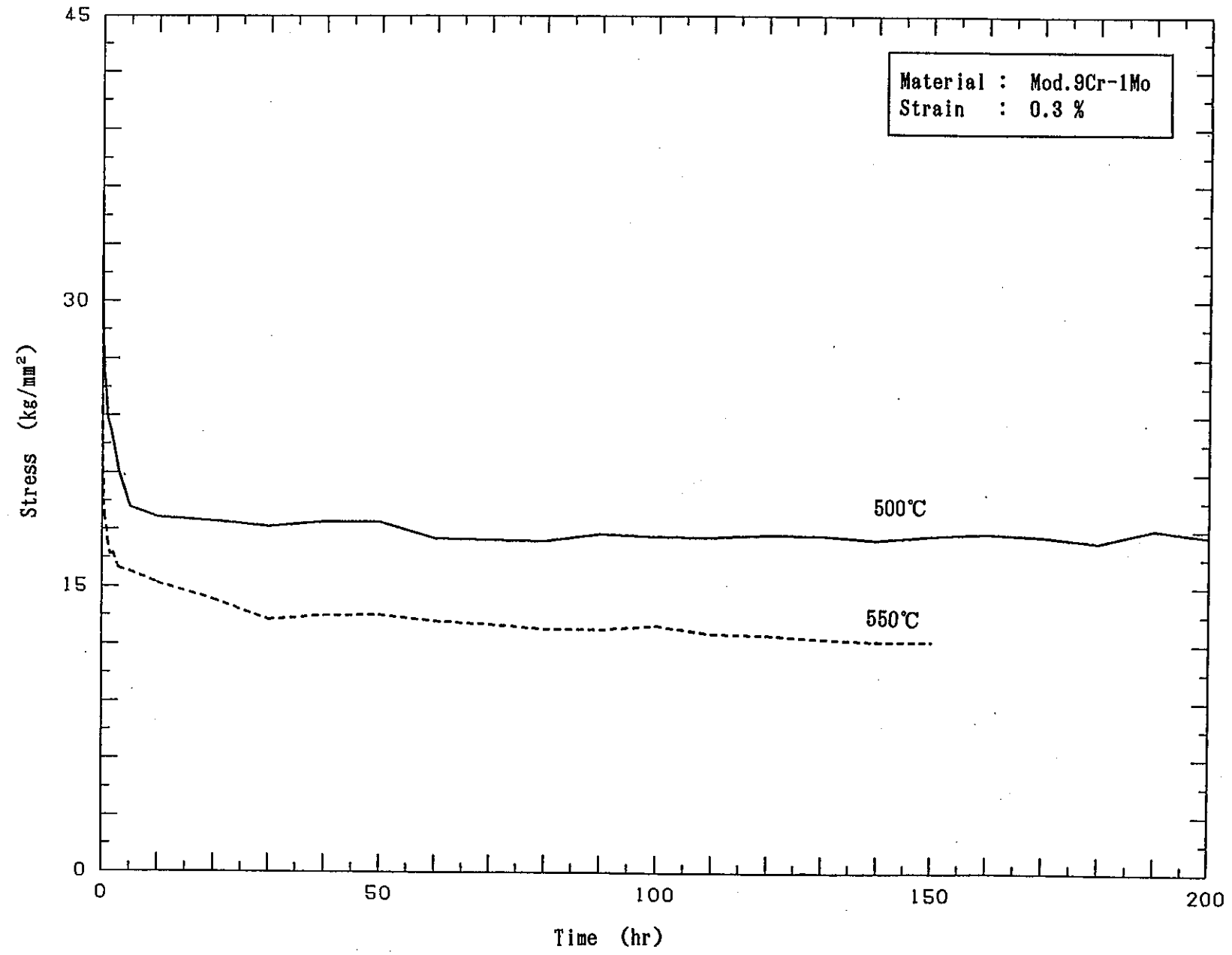


Fig.43 Comparison Stress Relaxation Curves at 0.3% Strain of Various Test Temperature for Mod.9Cr-1Mo Steel(1).

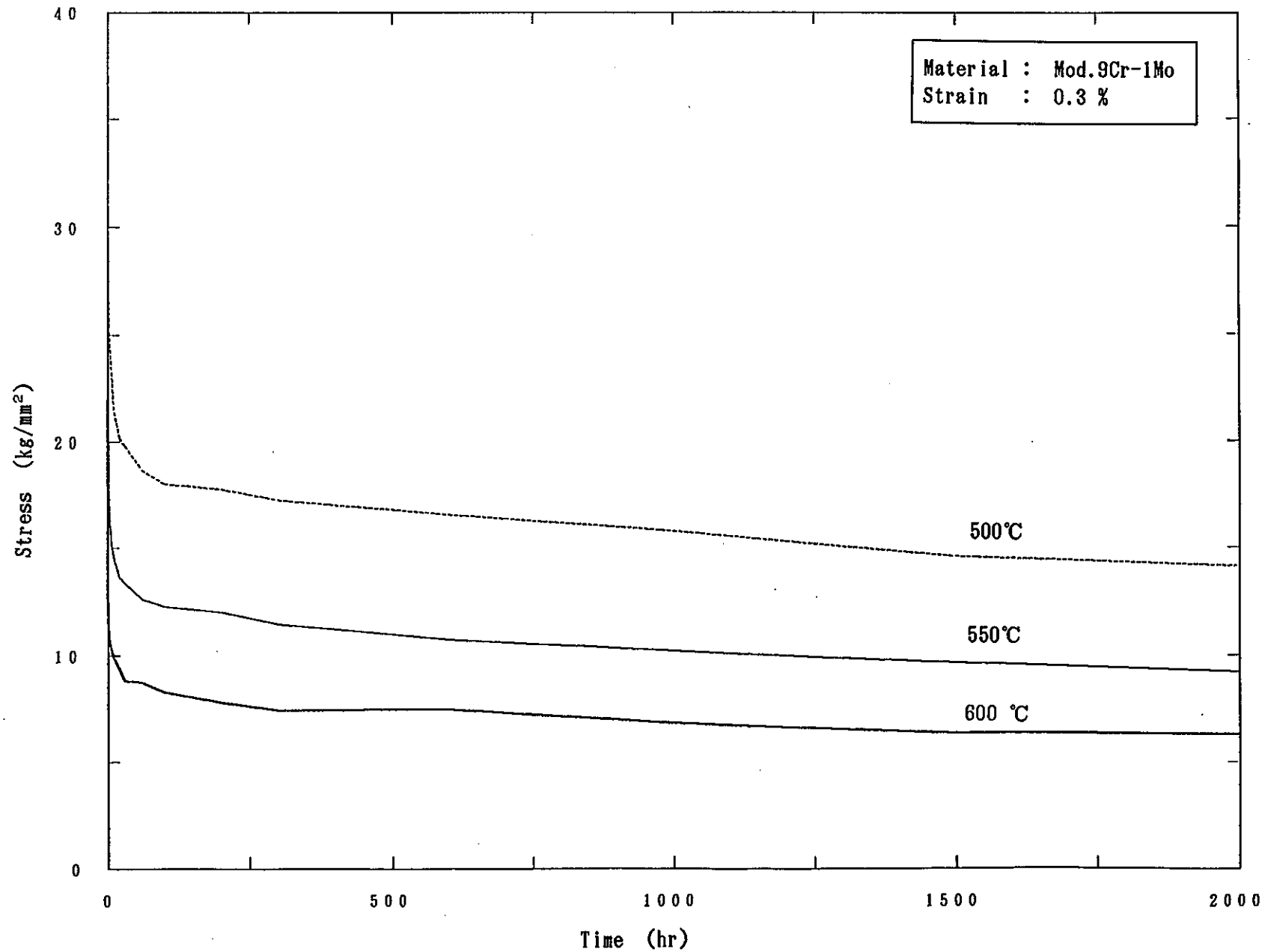


Fig.44 Comparison Stress Relaxation Curves at 0.3% Strain of Various Test Temperature for Mod.9Cr-1Mo Steel(2).

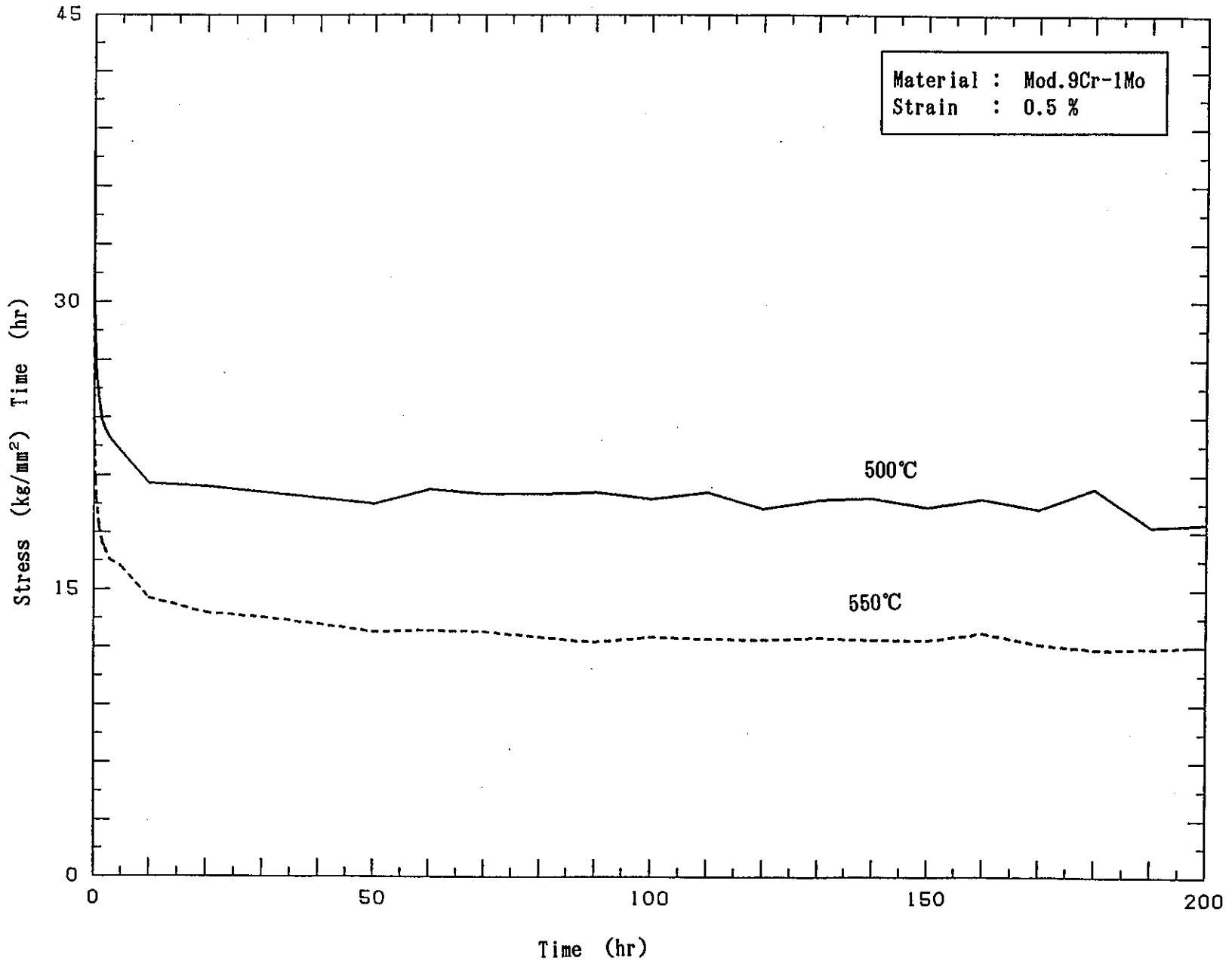


Fig.45 Comparison Stress Relaxation Curves at 0.5% Strain of Various Test Temperature for Mod.9Cr-1Mo Steel.

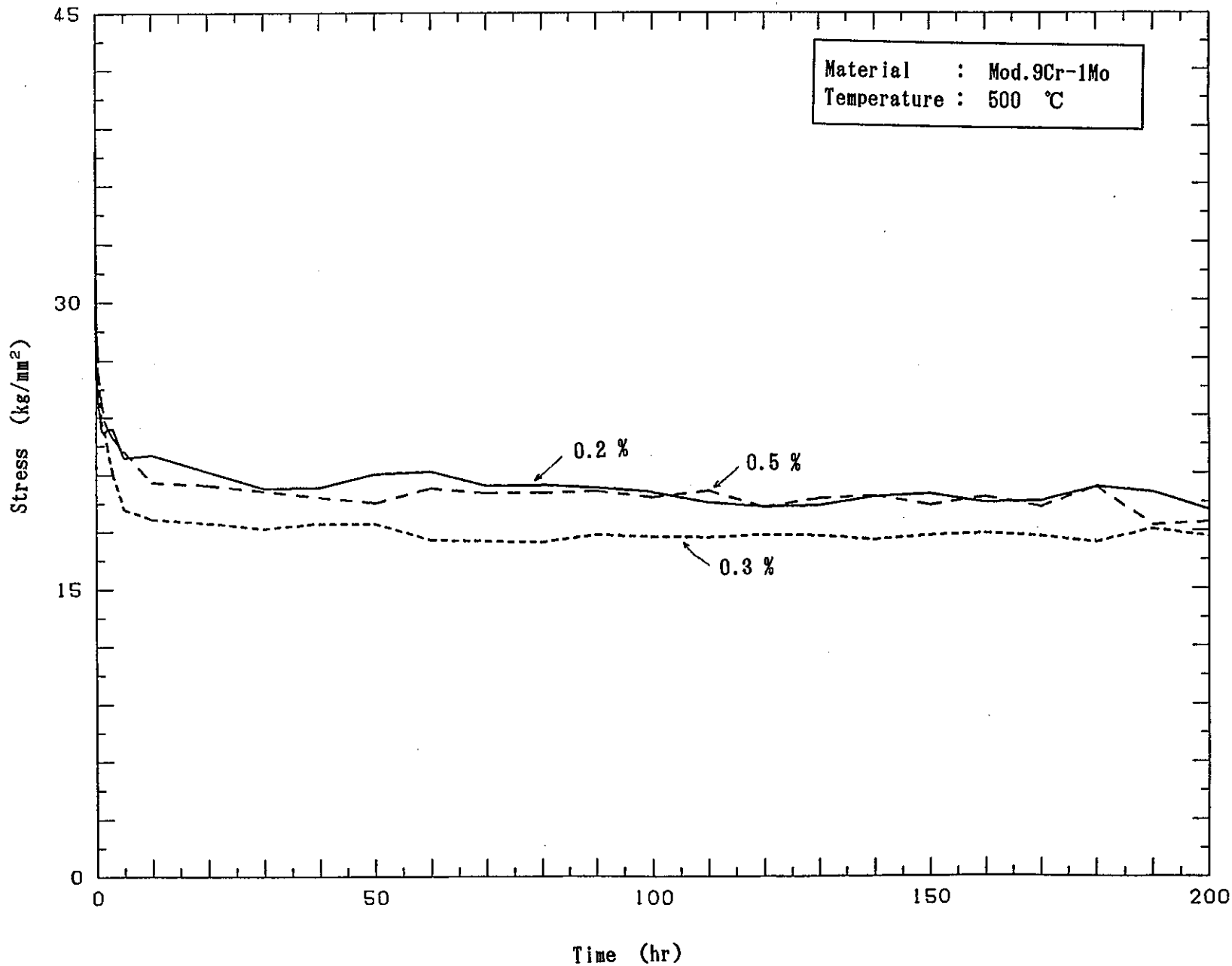


Fig.46 Comparison Stress Relaxation Curves at 500°C of Various Strain for Mod.9Cr-1Mo Steel (1)

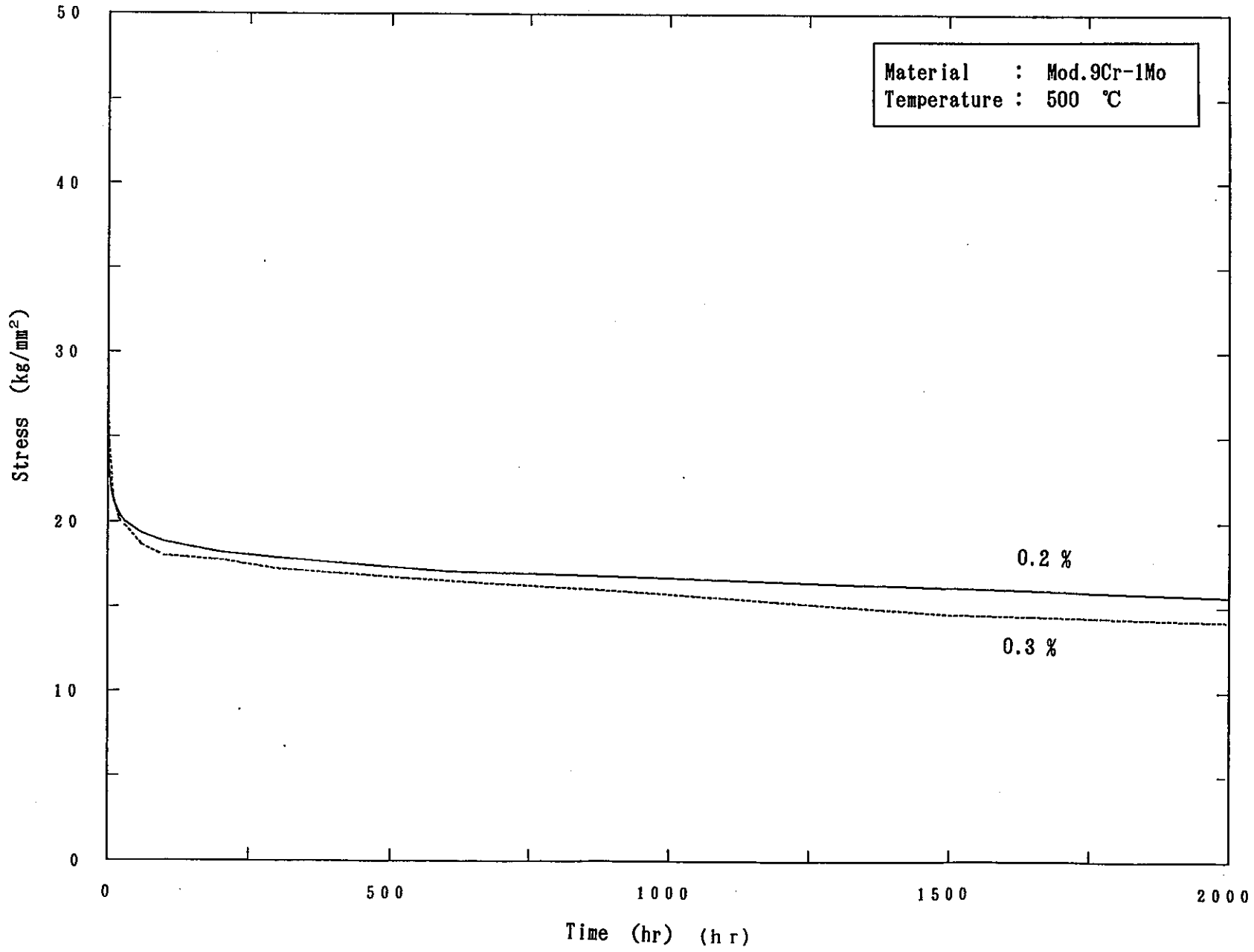


Fig.47 Comparison Stress Relaxation Curves at 500°C of Various Strain for Mod.9Cr-1Mo Steel (2)

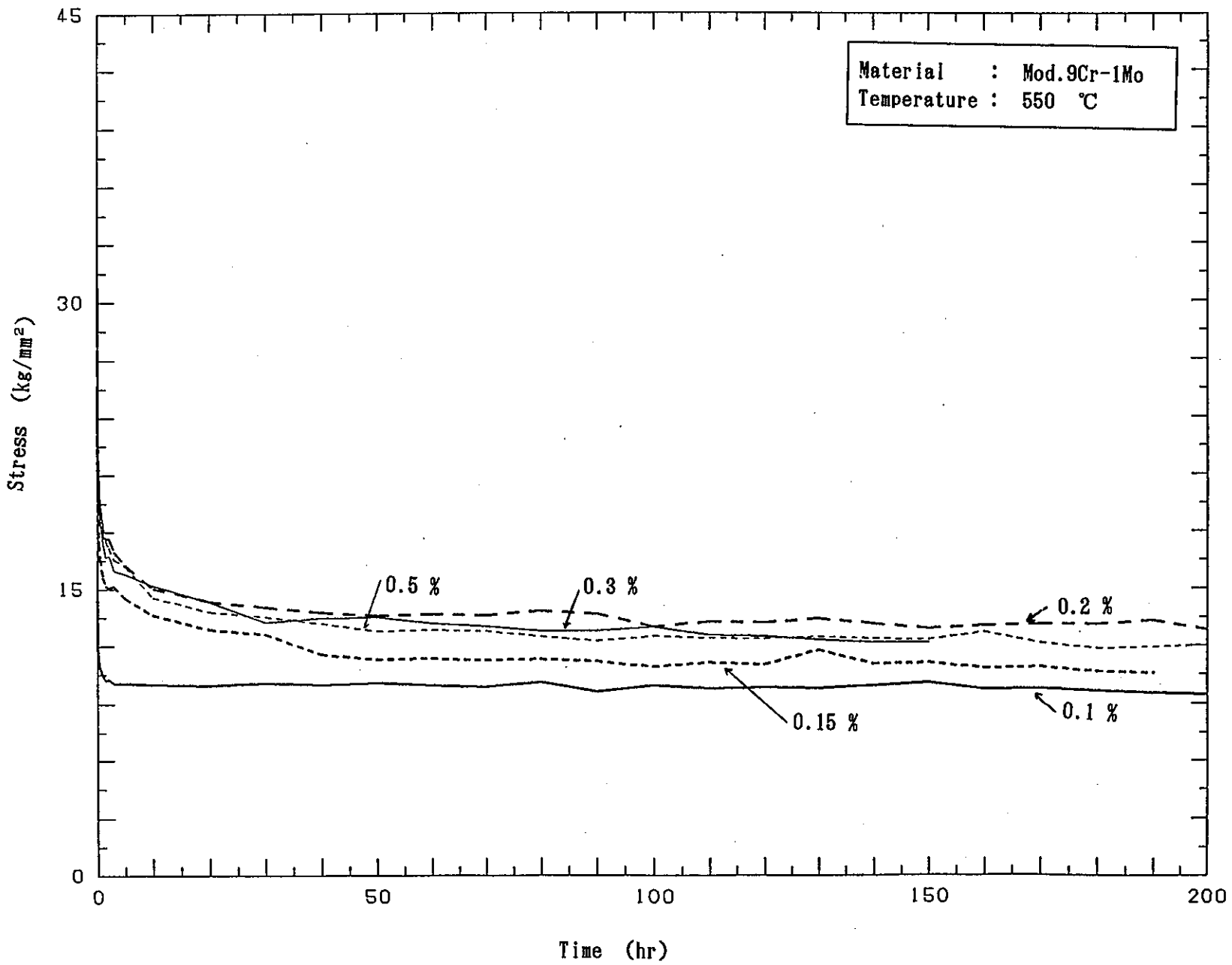


Fig.48 Comparison Stress Relaxation Curves at 550°C of Various Strain for Mod.9Cr-1Mo Steel (1).

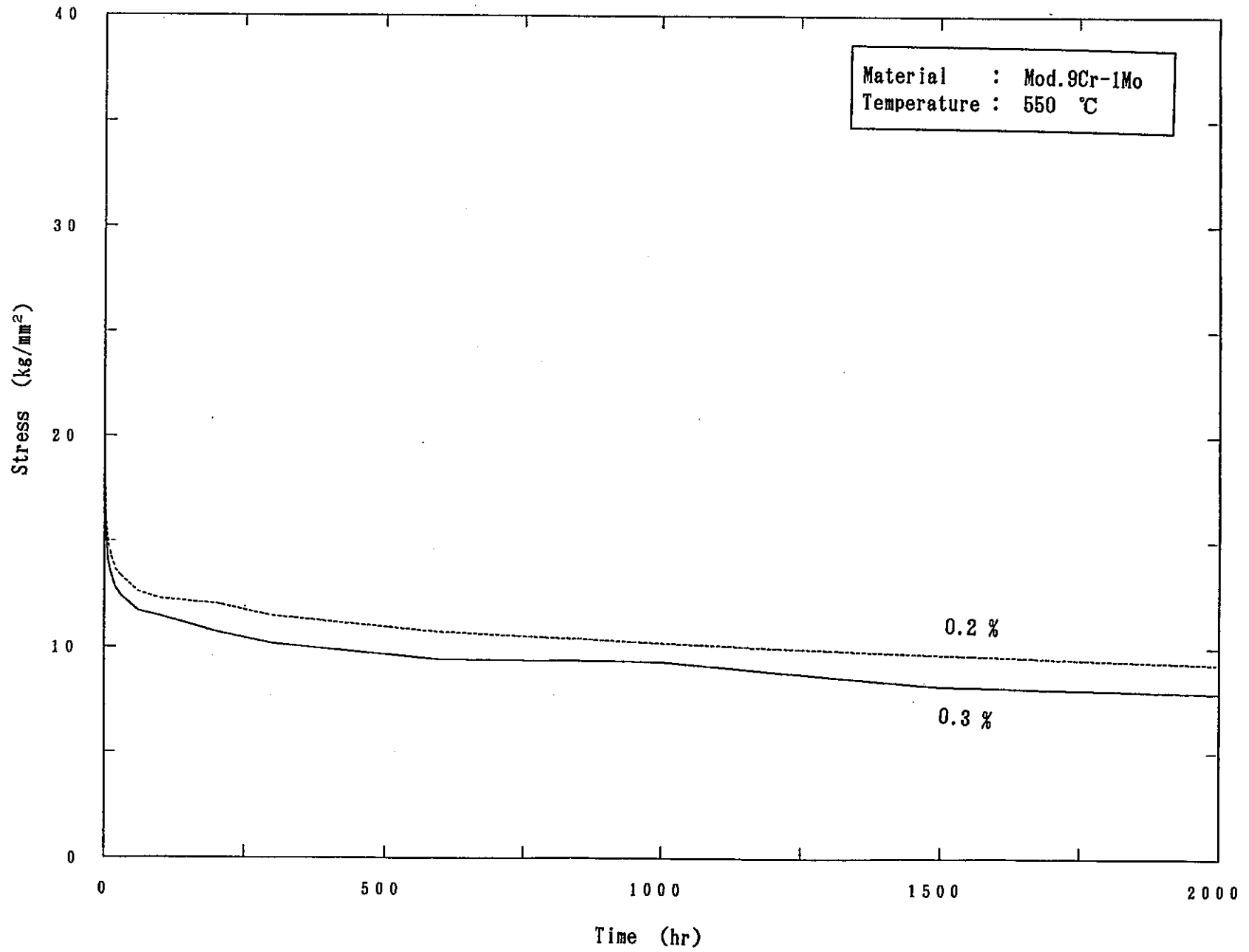


Fig.49 Comparison Stress Relaxation Curves at 550°C of Various Strain for Mod.9Cr-1Mo Steel (2).

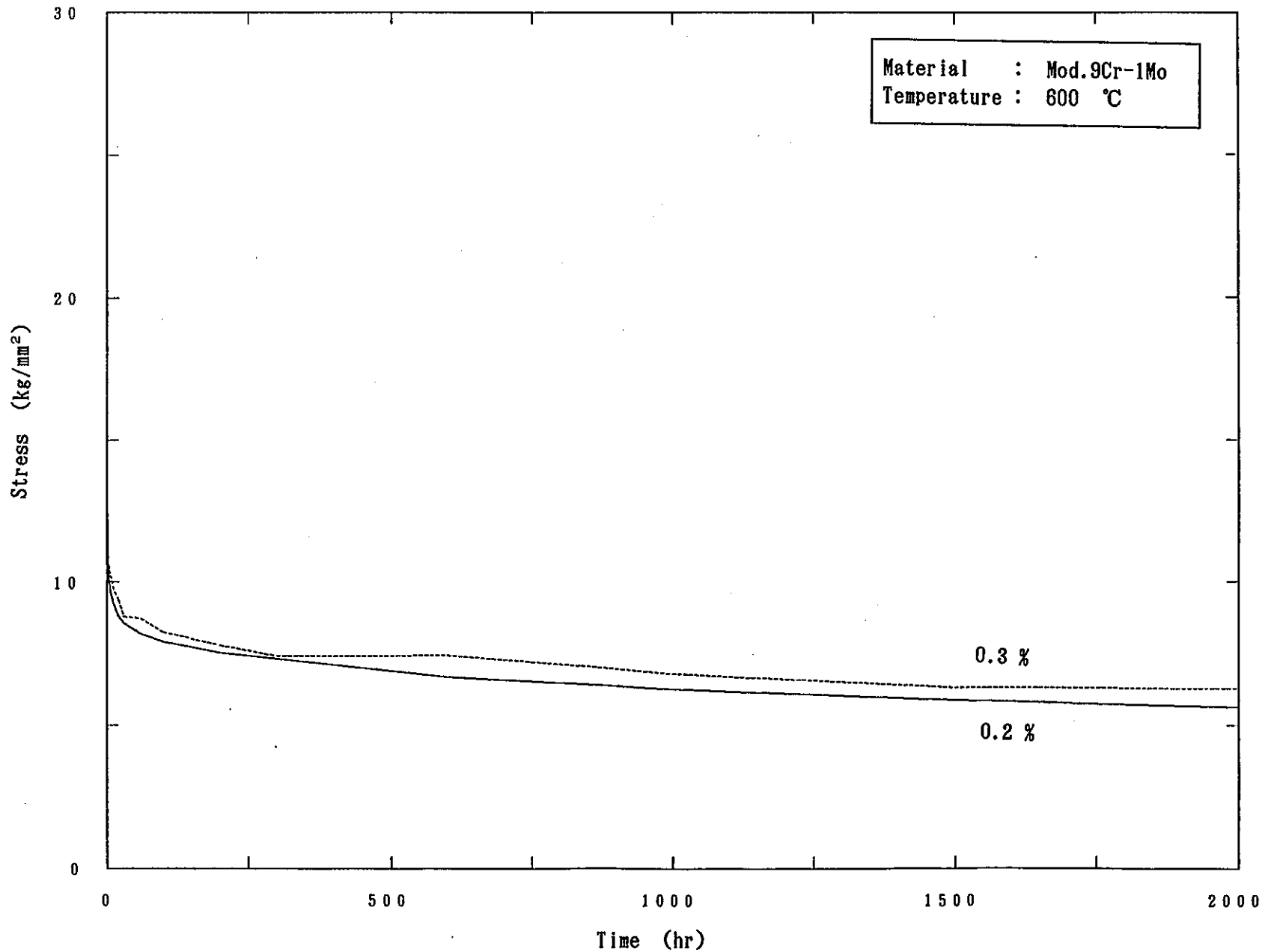


Fig.50 Comparison Stress Relaxation Curves at 600°C of Various Strain for Mod.9Cr-1Mo Steel.

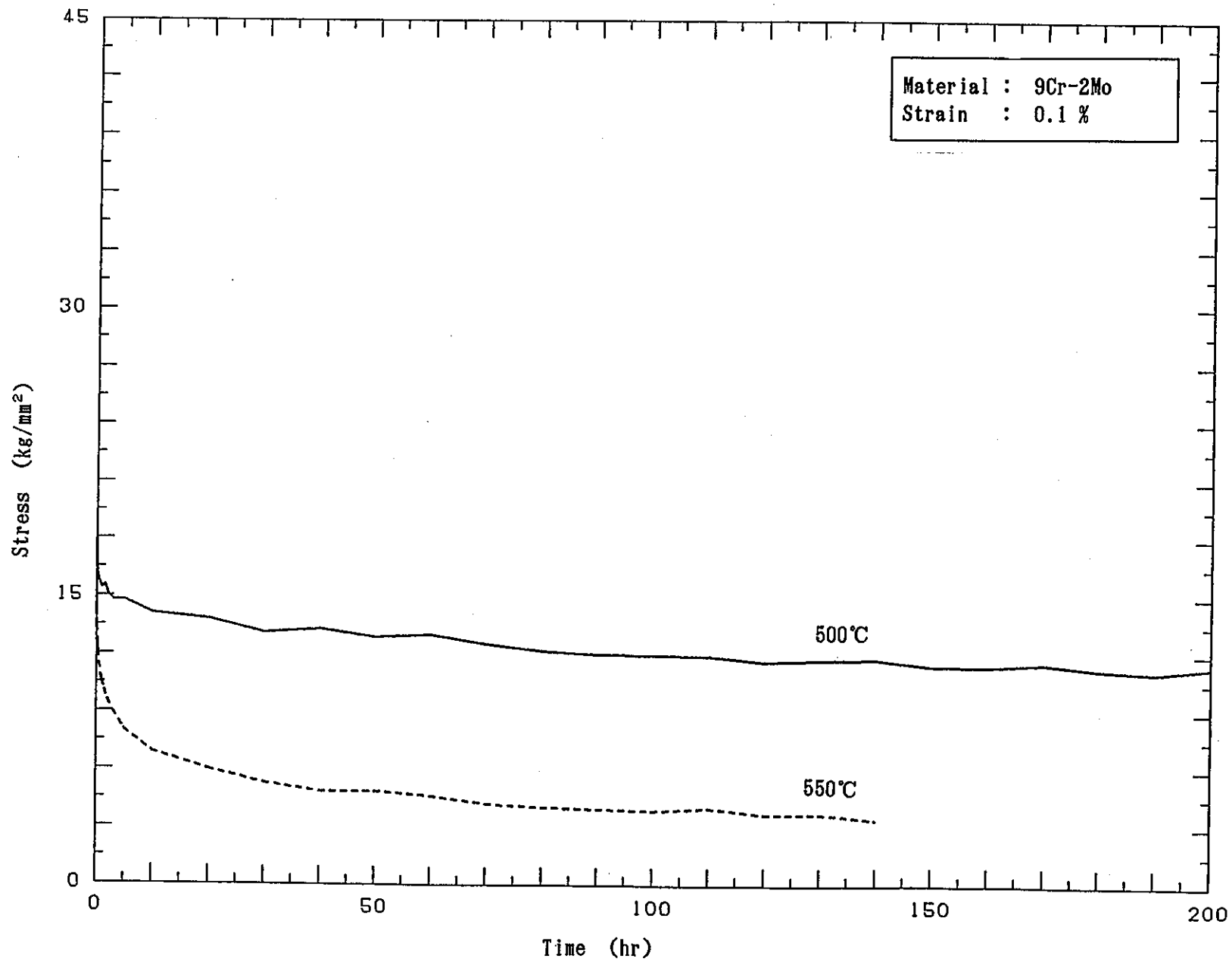


Fig.51 Comparison Stress Relaxation Curves at 0.1% Strain of Various Test Temperature for 9Cr-2Mo Steel.

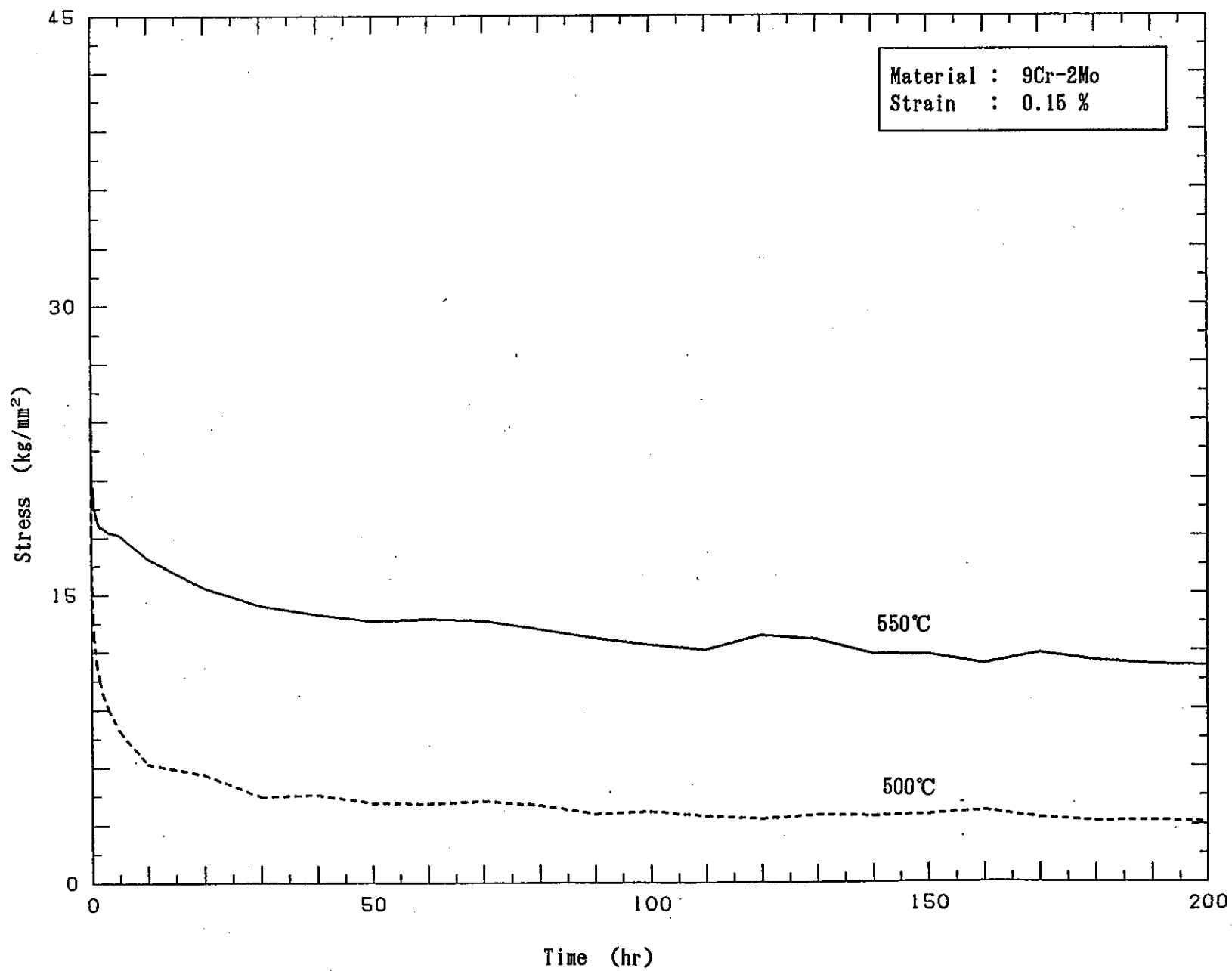


Fig.52 Comparison Stress Relaxation Curves at 0.15% Strain of Various Test Temperature for 9Cr-2Mo Steel.

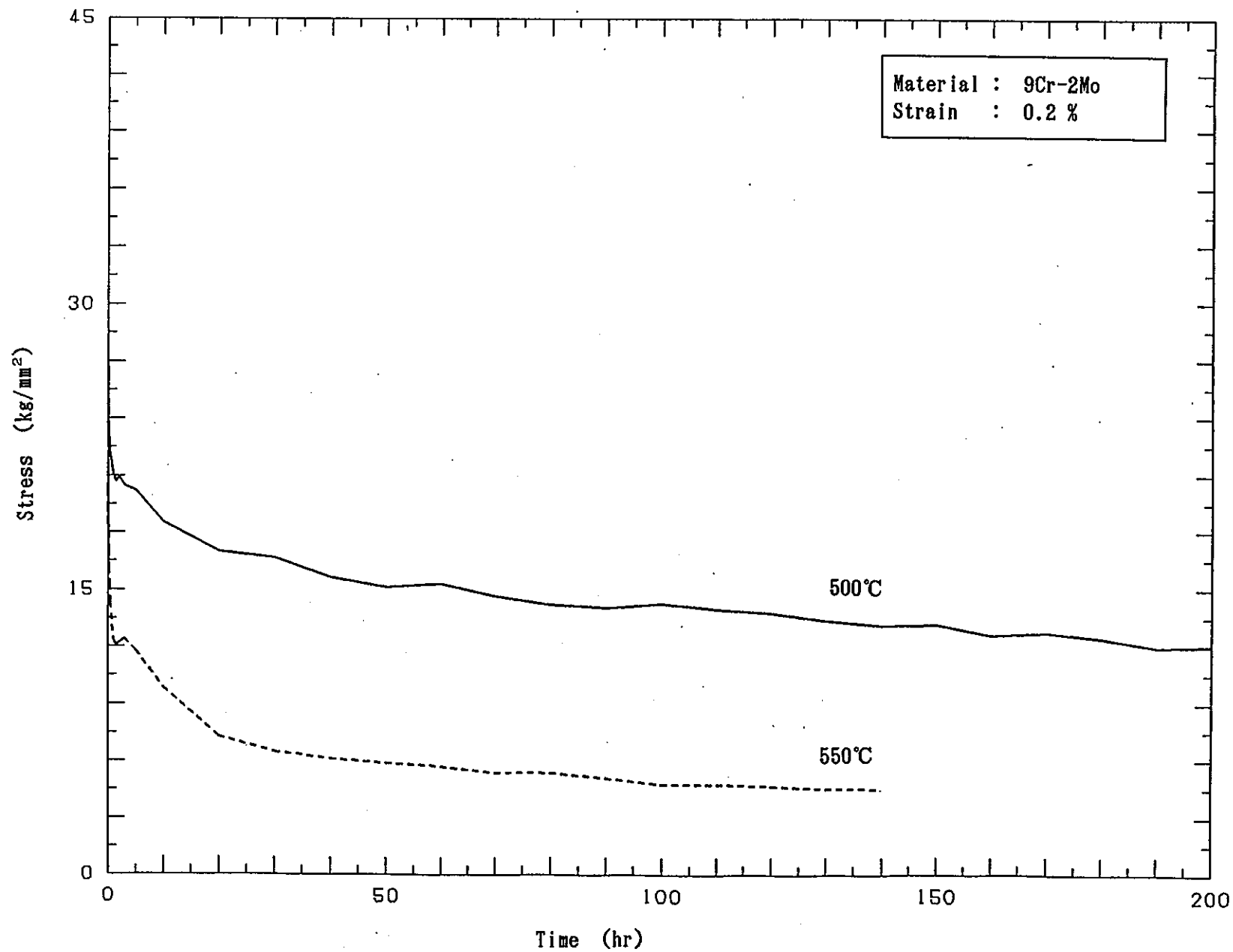


Fig.53 Comparison Stress Relaxation Curves at 0.2% Strain of Various Test Temperature for 9Cr-2Mo Steel (1).

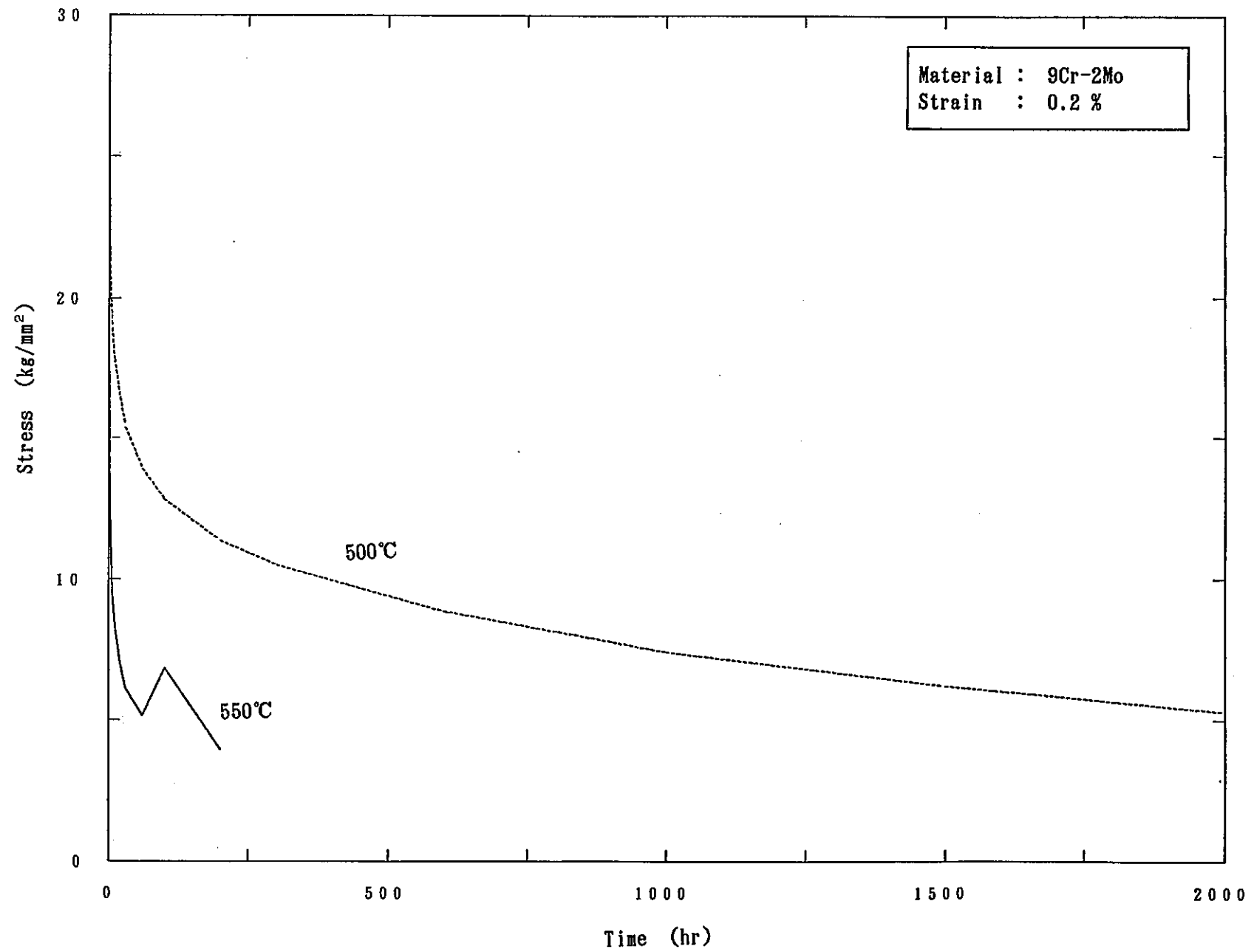


Fig.54 Comparison Stress Relaxation Curves at 0.2% Strain of Various Test Temperature for 9Cr-2Mo Steel (2).

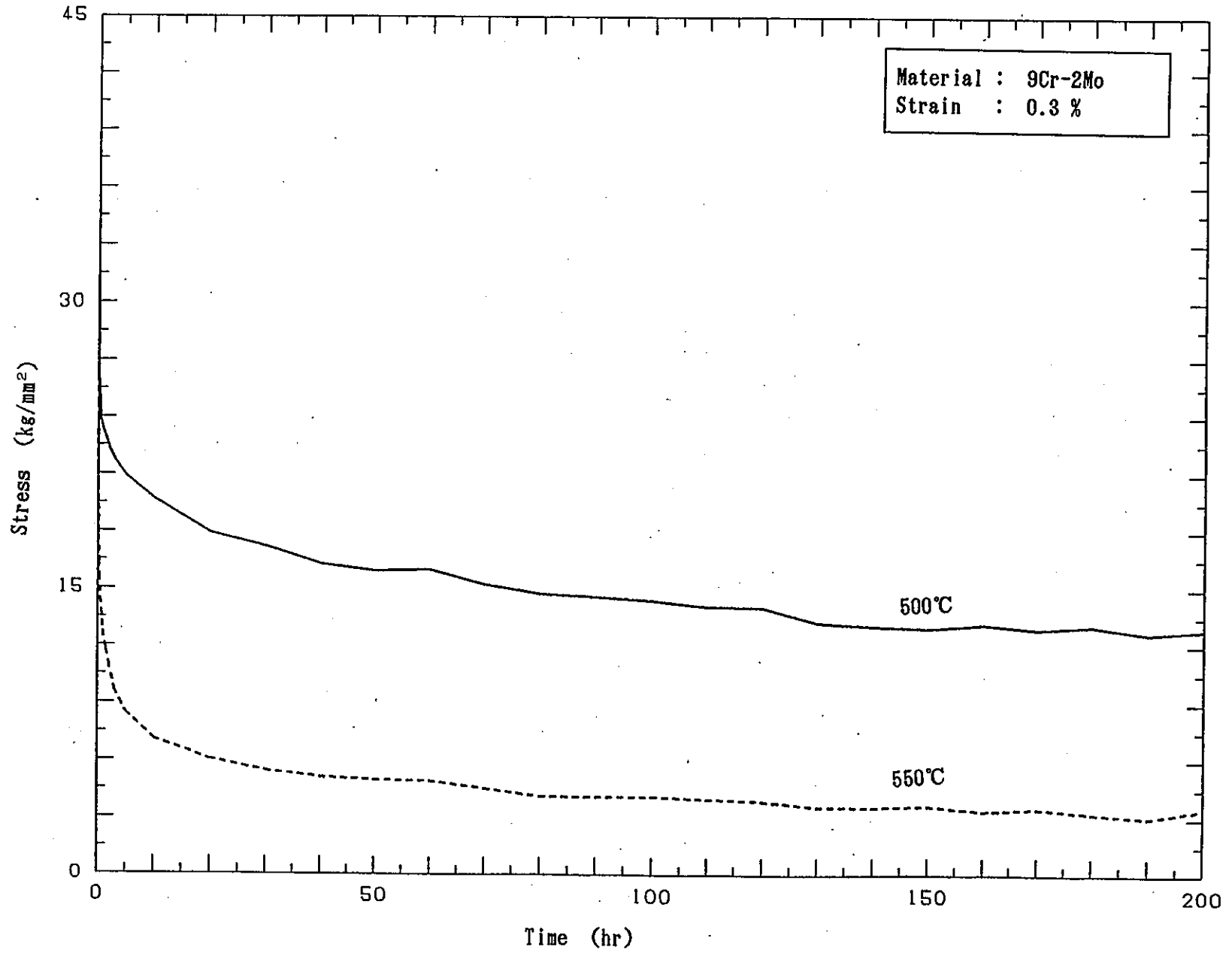


Fig.55 Comparison Stress Relaxation Curves at 0.3% Strain of Various Test Temperature for 9Cr-2Mo Steel.

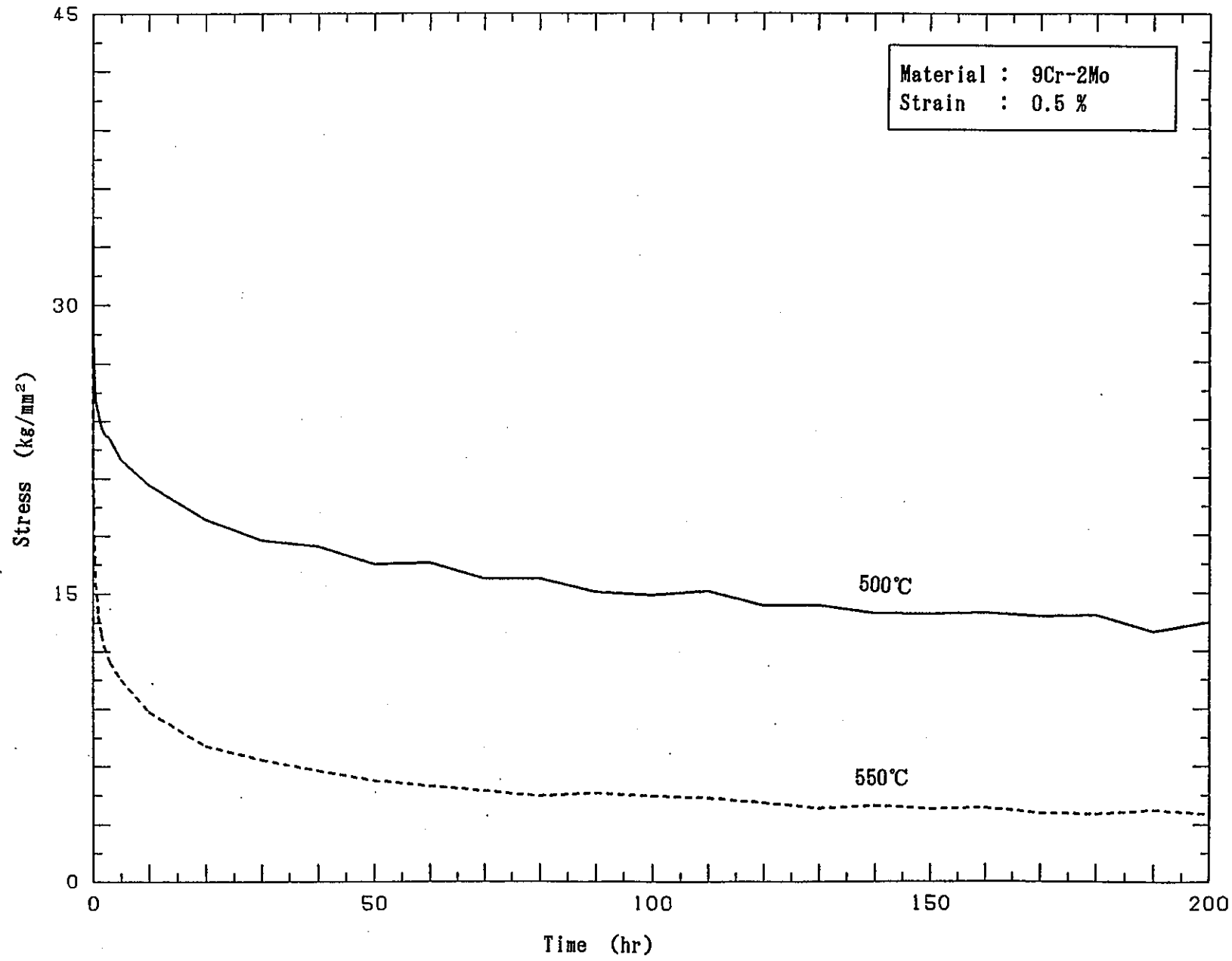


Fig.56 Comparison Stress Relaxation Curves at 0.5% Strain of Various Test Temperature for 9Cr-2Mo Steel.

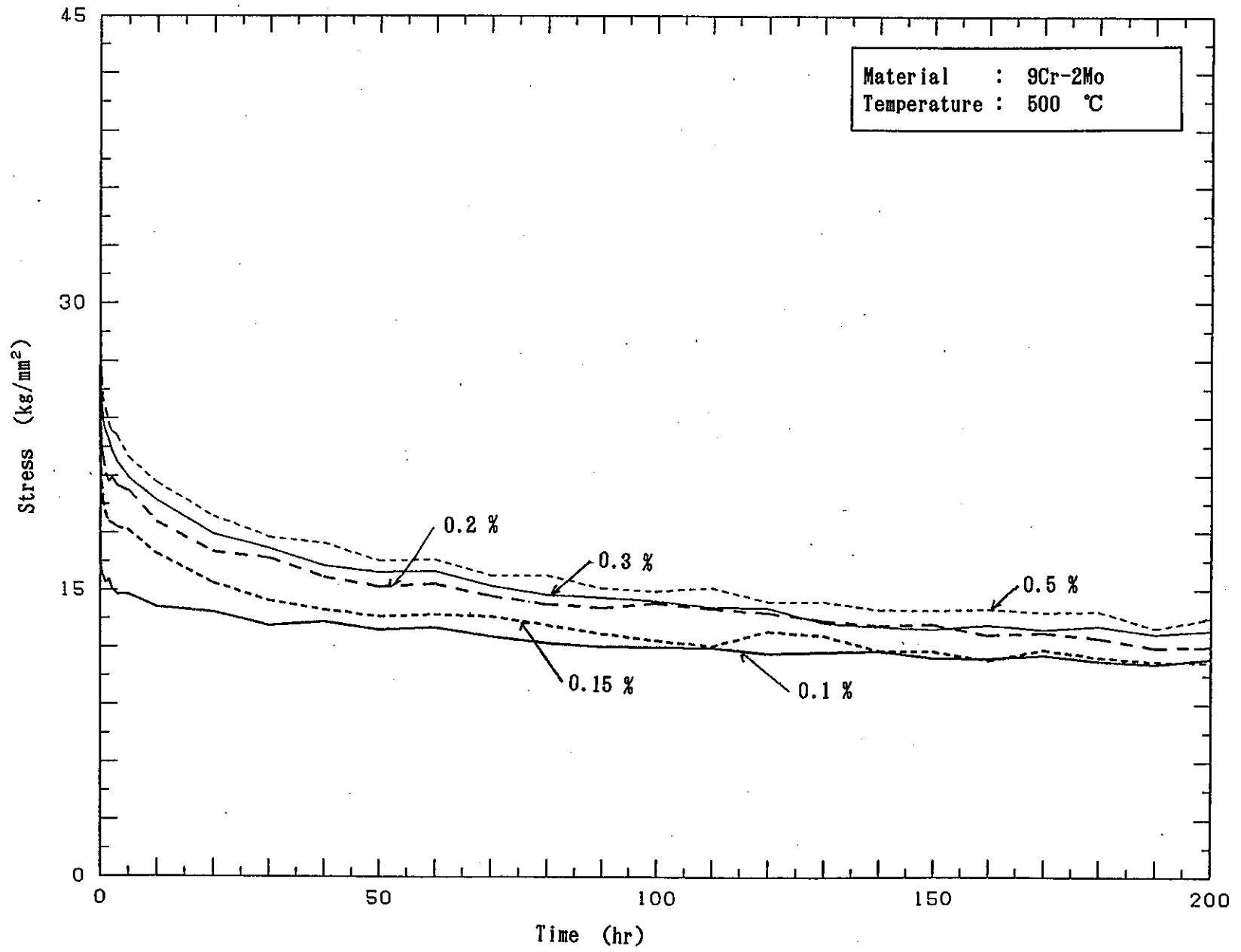


Fig.57 Comparison Stress Relaxation Curves at 500°C of Various Strain for 9Cr-2Mo Steel.

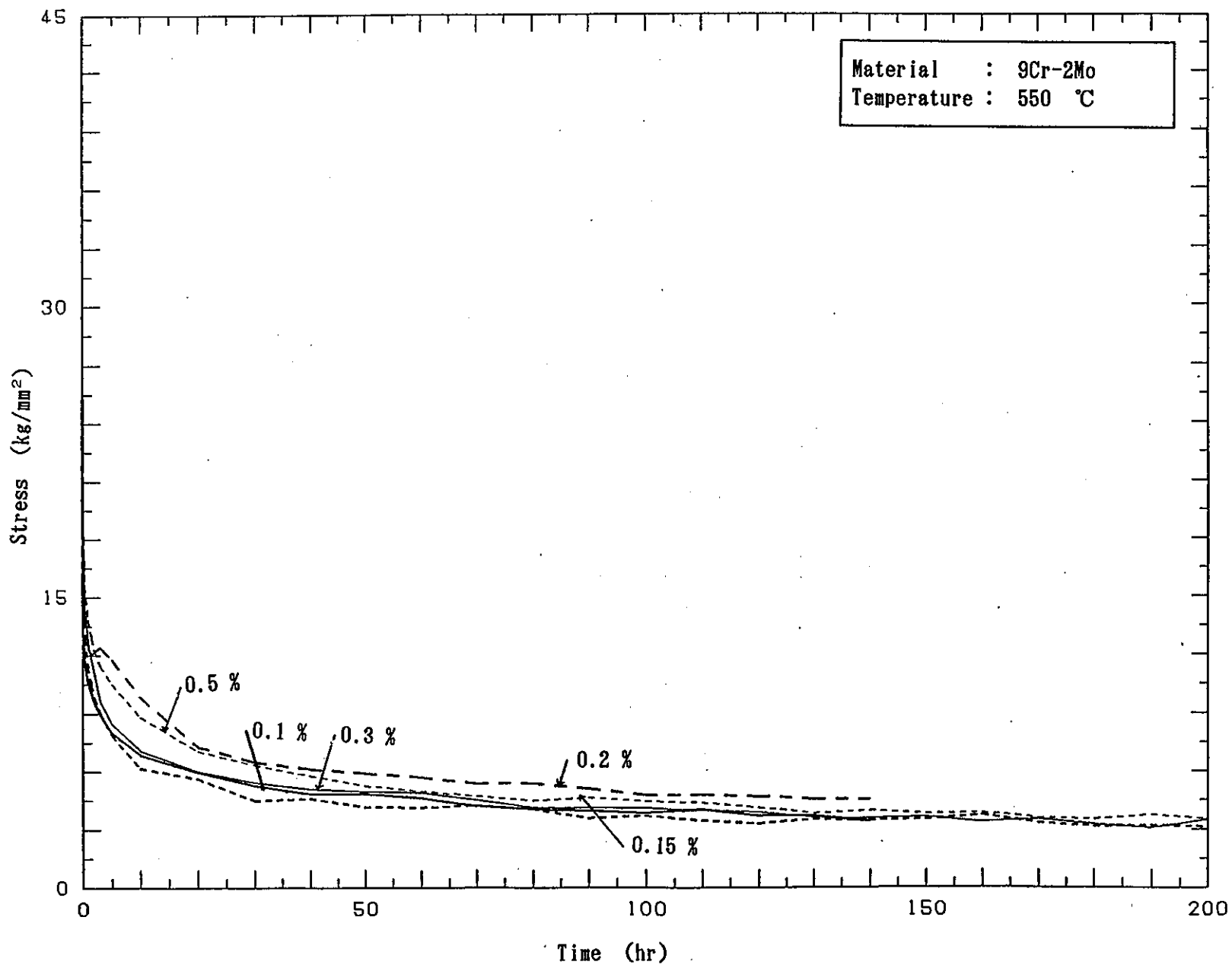


Fig.58 Comparison Stress Relaxation Curves at 550°C of Various Strain for 9Cr-2Mo Steel.

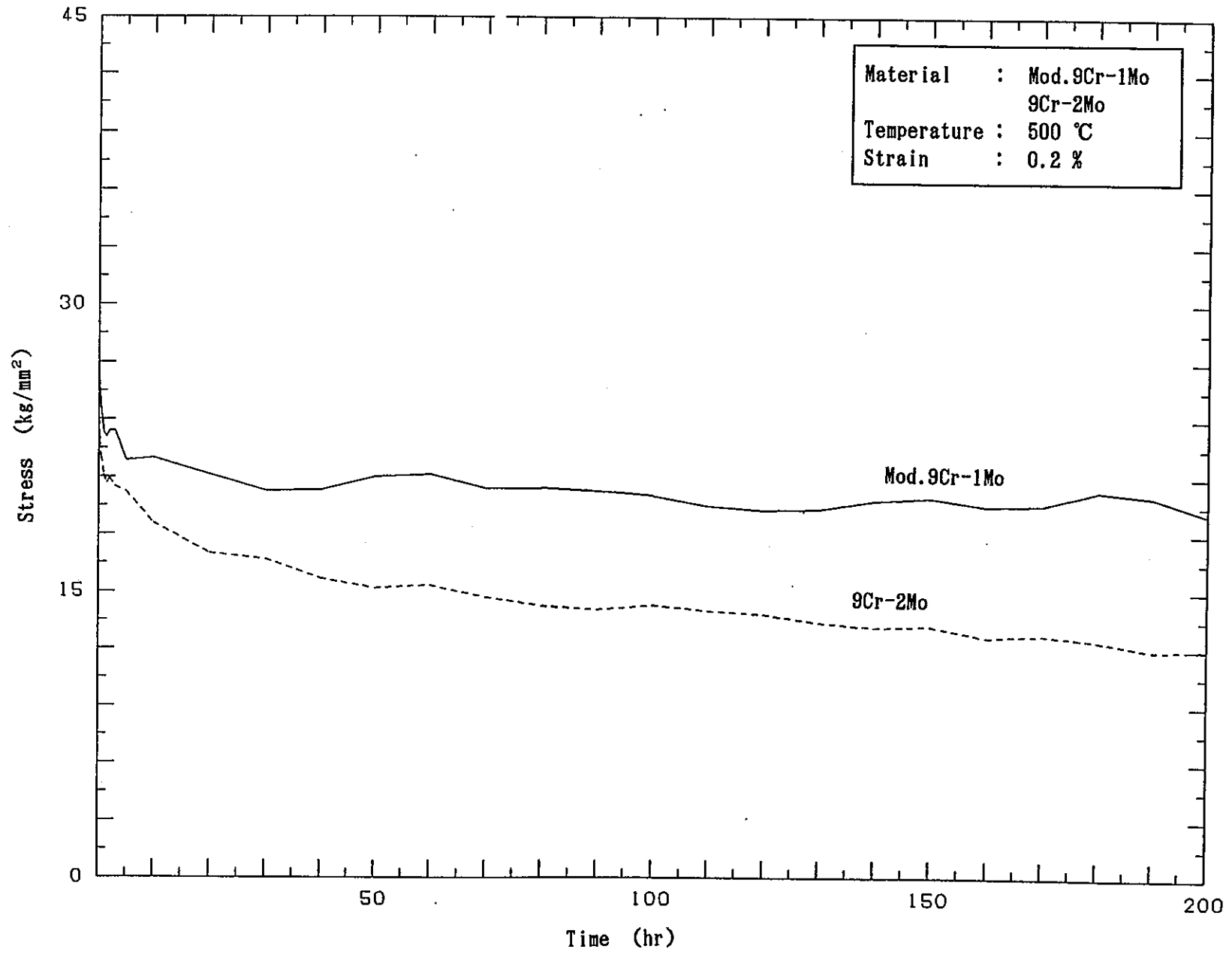


Fig.59 Comparison of Relaxation Behavior of Mod.9Cr-1Mo and 9Cr-2Mo Steels with Strain Range of 0.2% at 500°C(1).

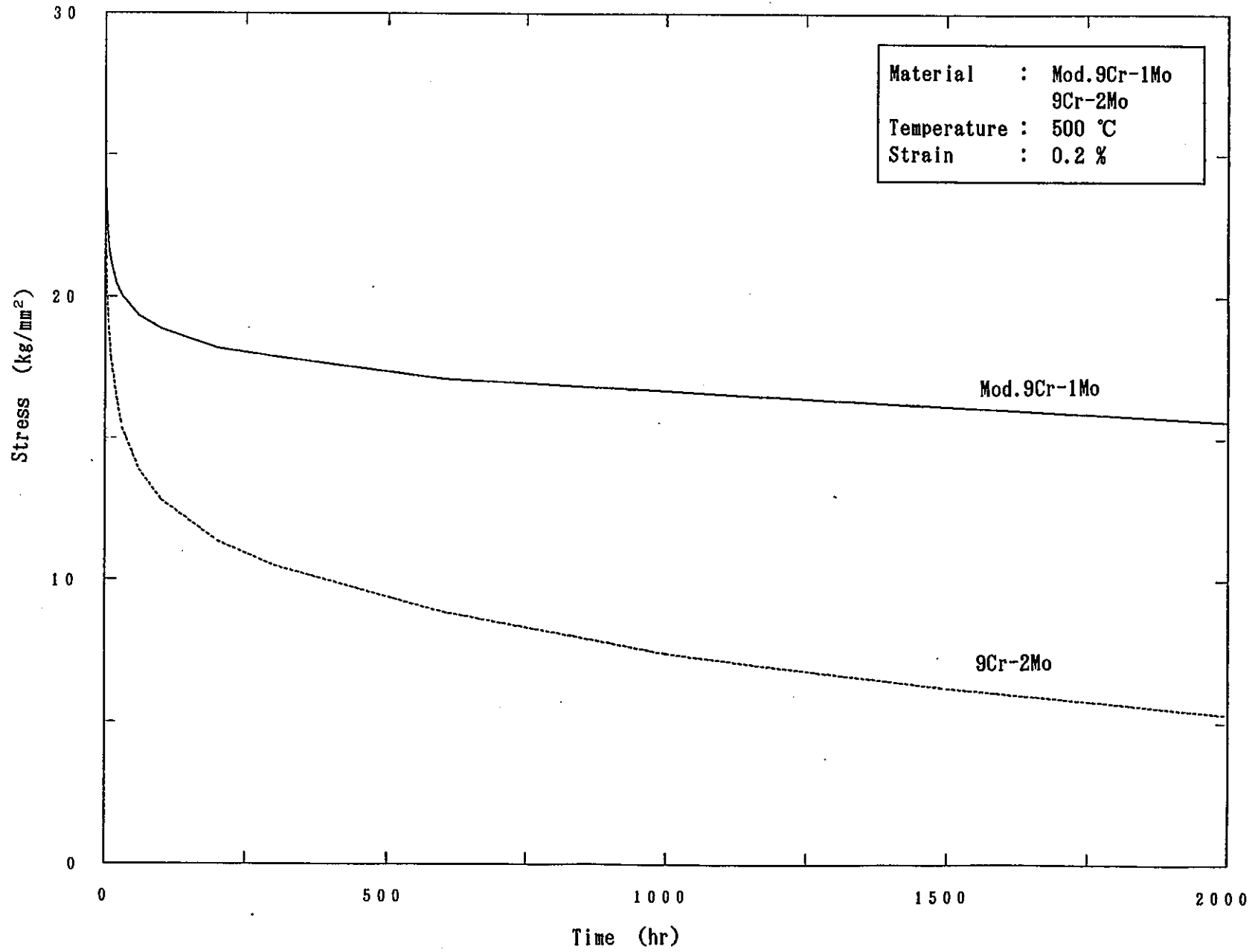


Fig.60 Comparison of Relaxation Behavior for Mod.9Cr-1Mo and 9Cr-2Mo Steels with Strain Range of 0.2% at 500°C(2).

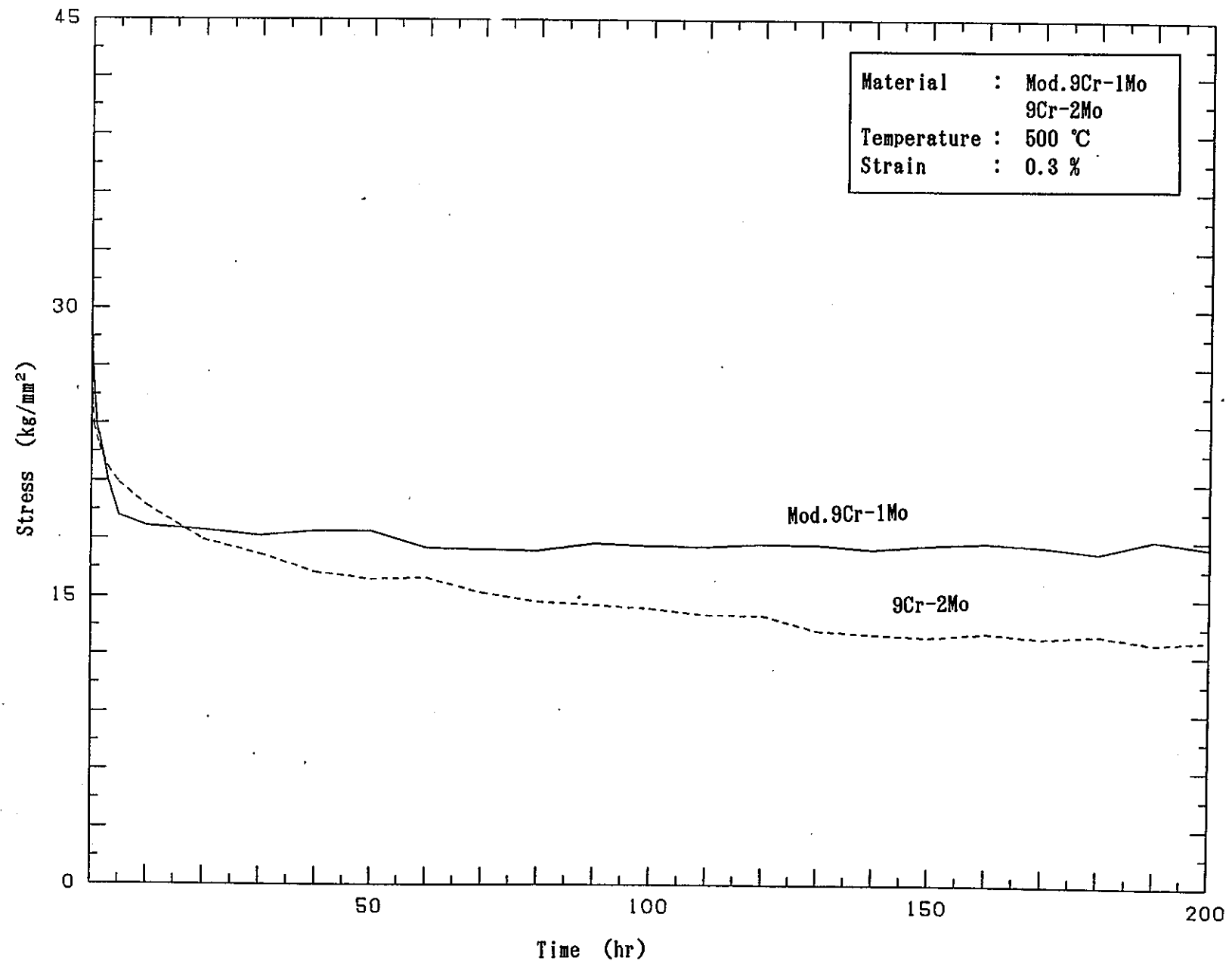


Fig.61 Comparison of Relaxation Behavior for Mod.9Cr-1Mo and 9Cr-2Mo Steels with Strain Range of 0.3% at 500°C.

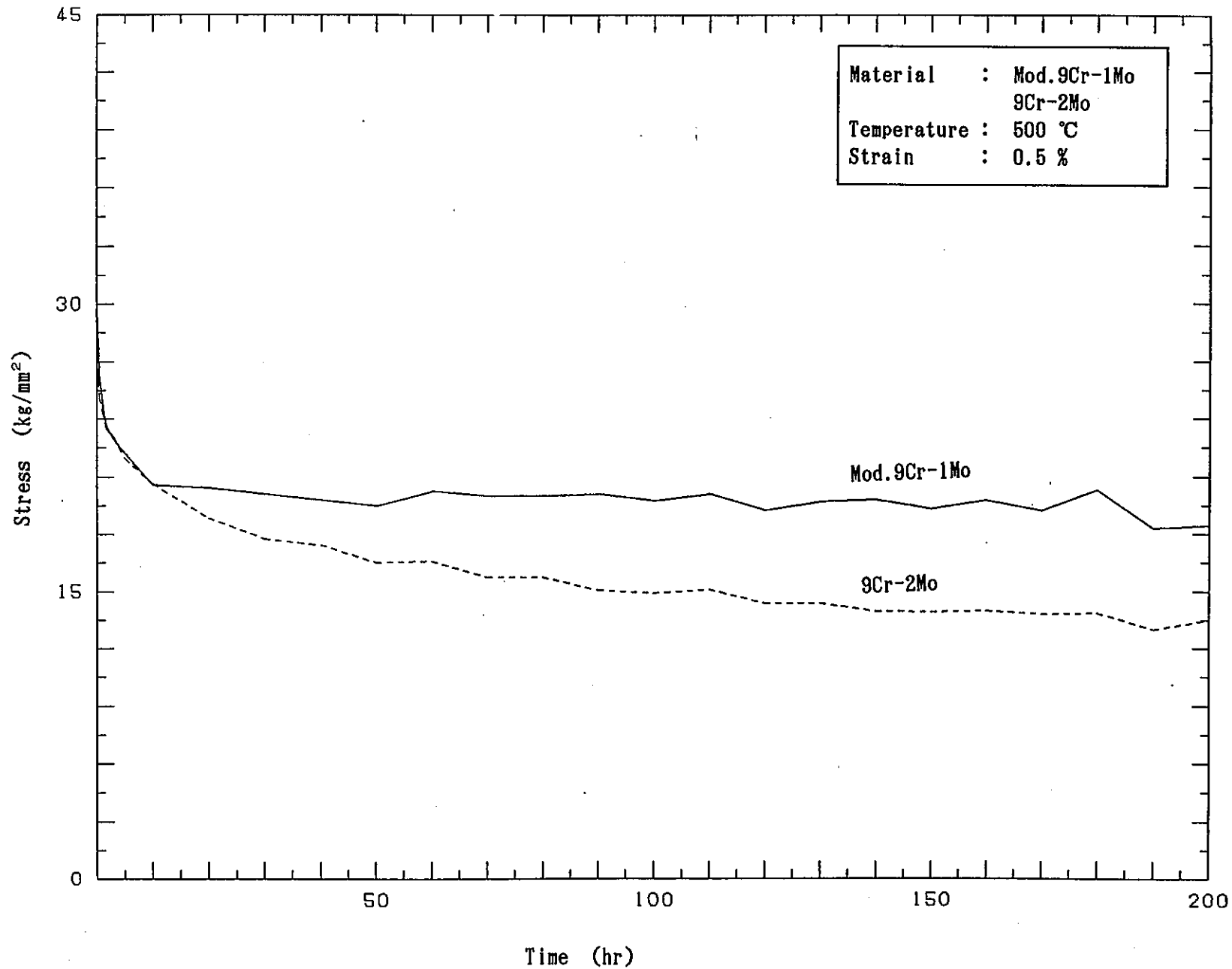


Fig.62 Comparison of Relaxation Behavior for Mod.9Cr-1Mo and 9Cr-2Mo Steels with Strain Range of 0.5% at 500°C.

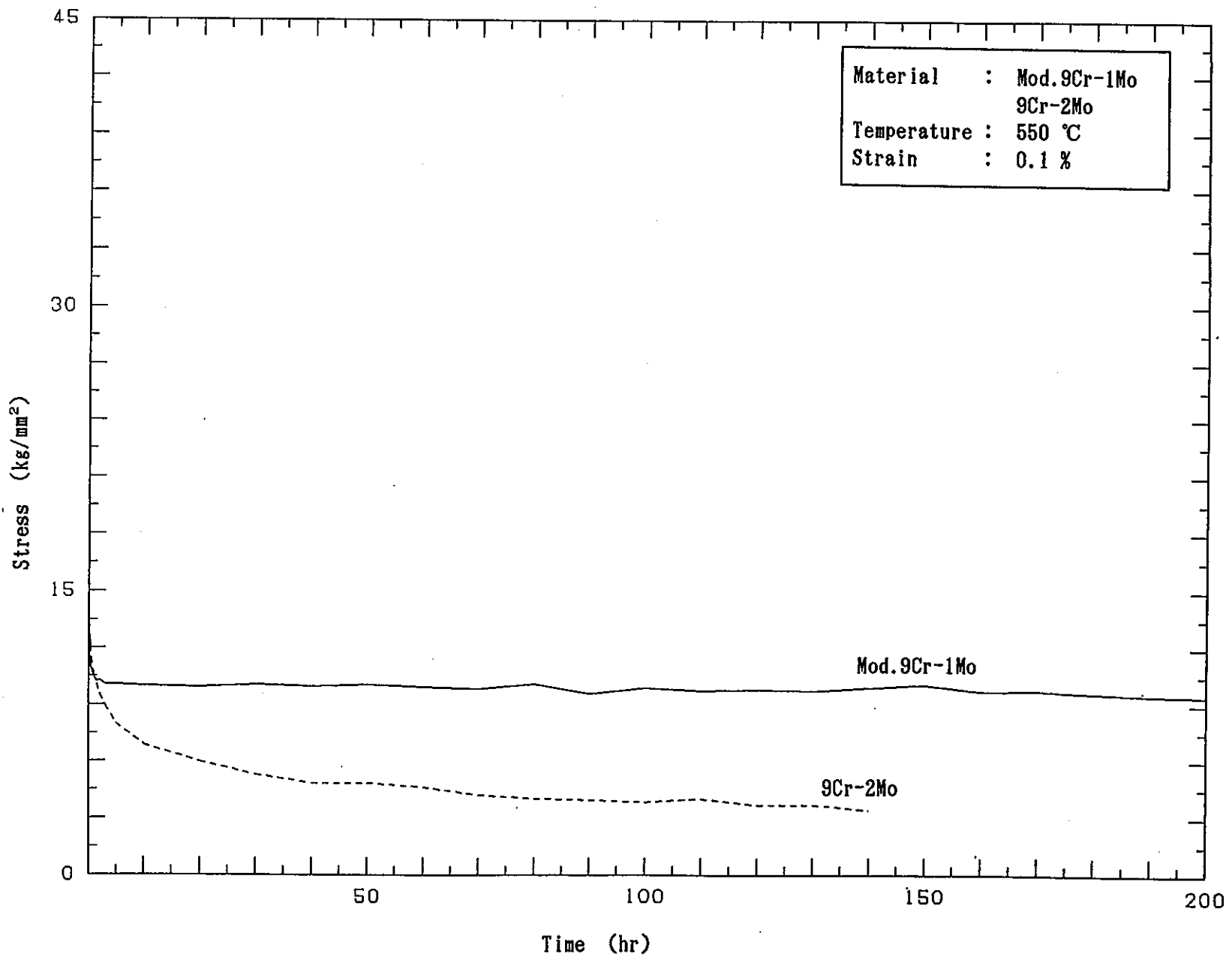


Fig.63 Comparison of Relaxation Behavior for Mod.9Cr-1Mo and 9Cr-2Mo Steels with Strain Range of 0.1% at 550°C.

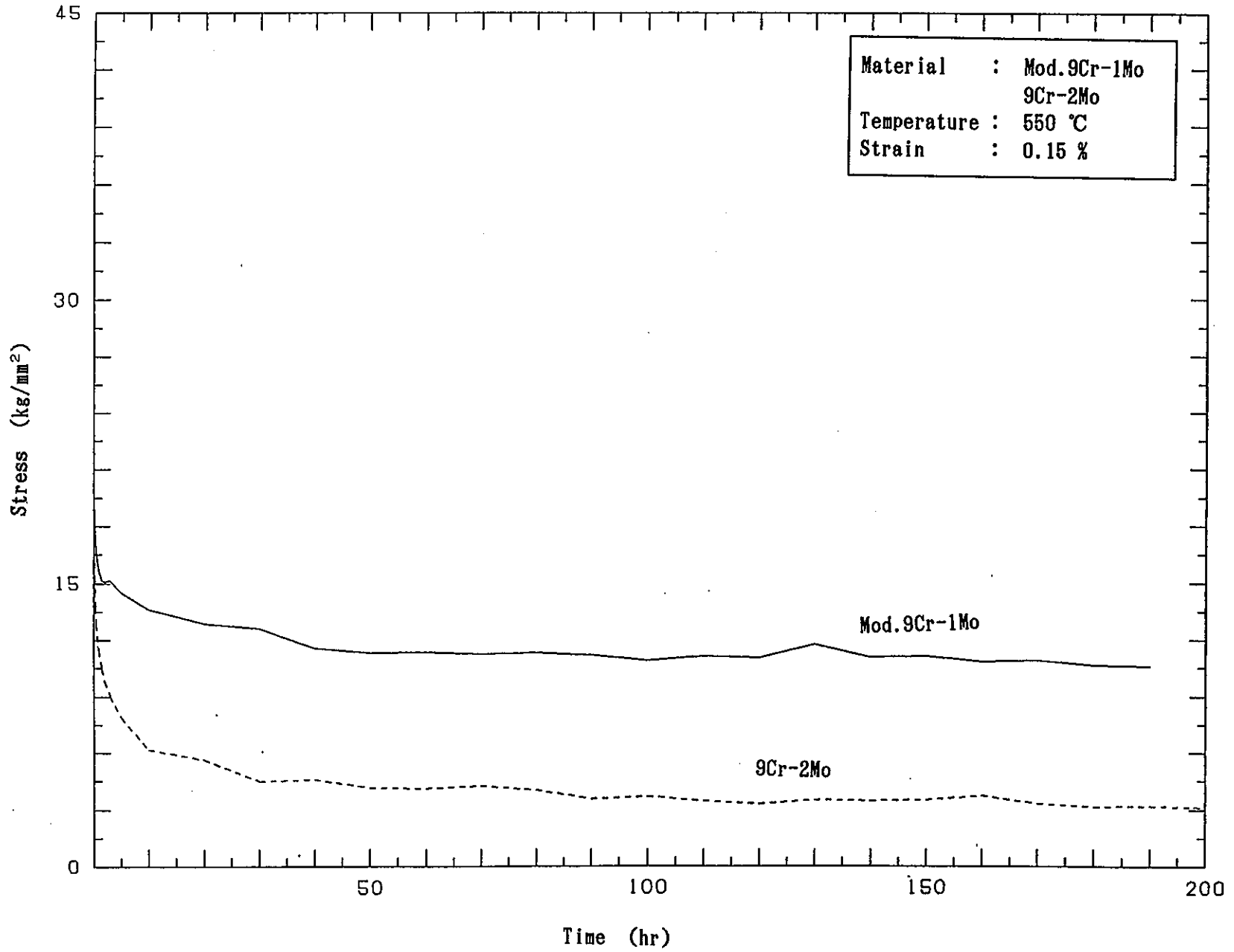


Fig.64 Comparison of Relaxation Behavior for of Mod.9Cr-1Mo and 9Cr-2Mo Steels with Strain Range of 0.15% at 550°C.

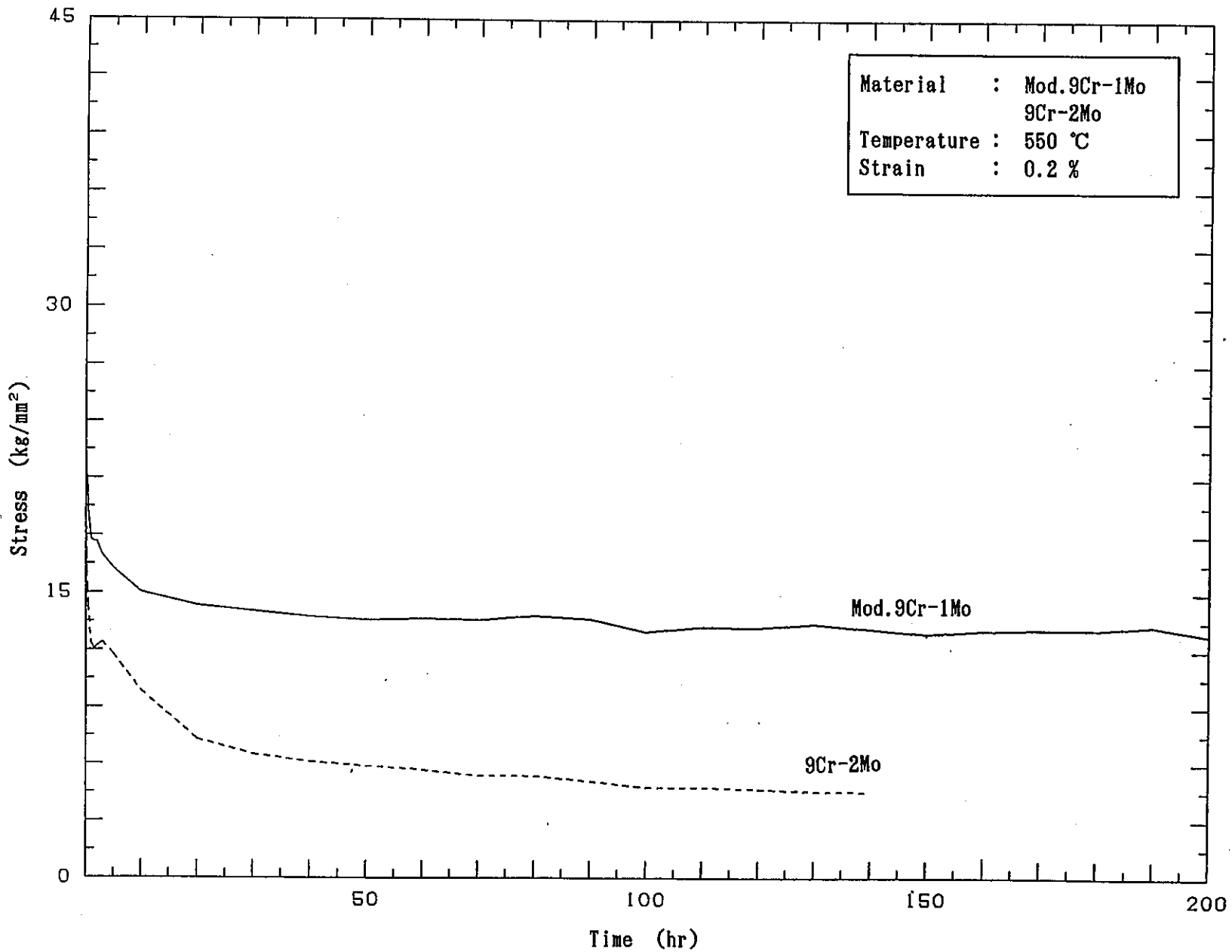


Fig.65 Comparison of Relaxation Behavior for of Mod.9Cr-1Mo and 9Cr-2Mo Steels with Strain Range of 0.2% at 550°C(1).

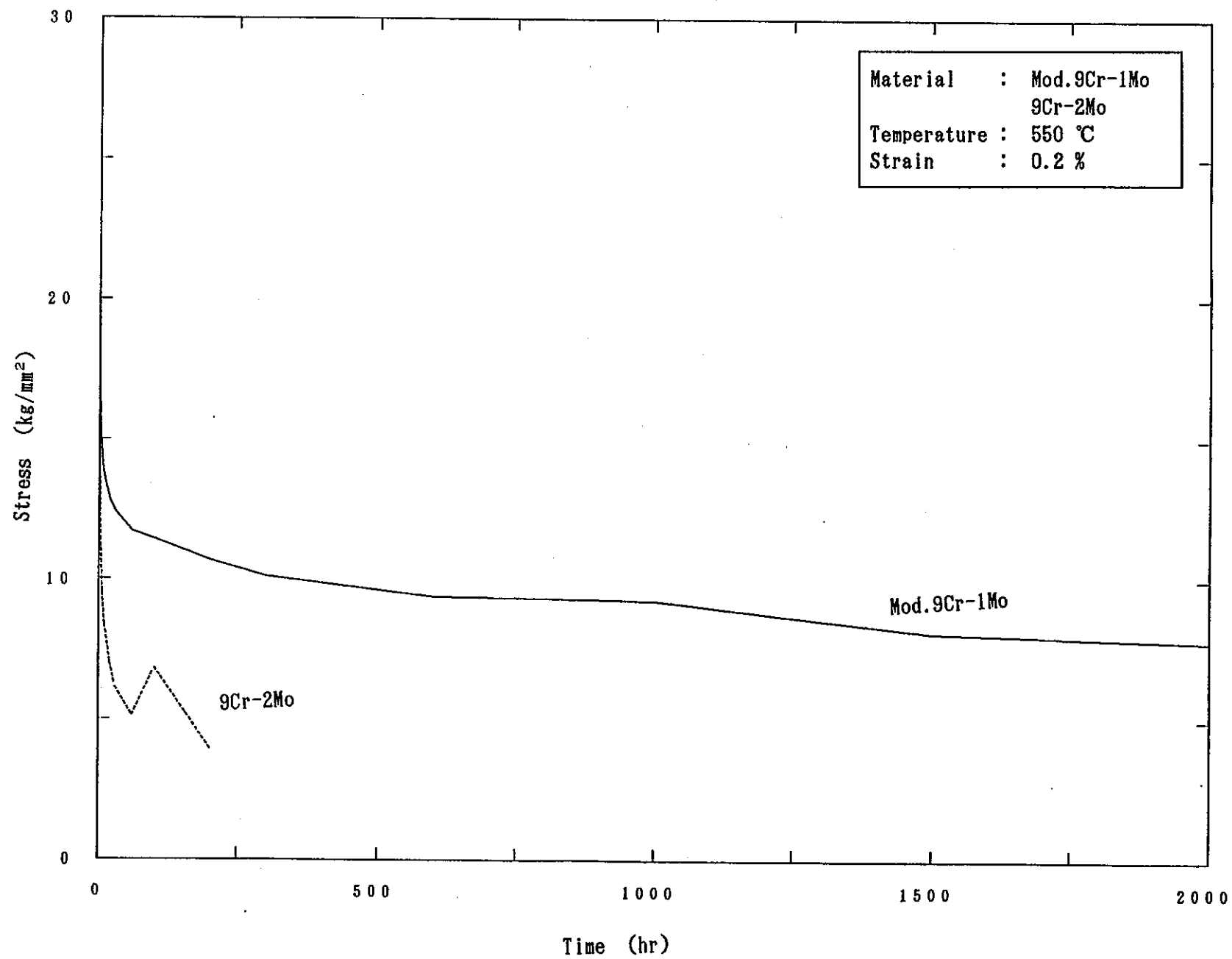


Fig.66 Comparison of Relaxation Behavior for Mod.9Cr-1Mo and 9Cr-2Mo Steels with Strain Range of 0.2% at 550°C(2).

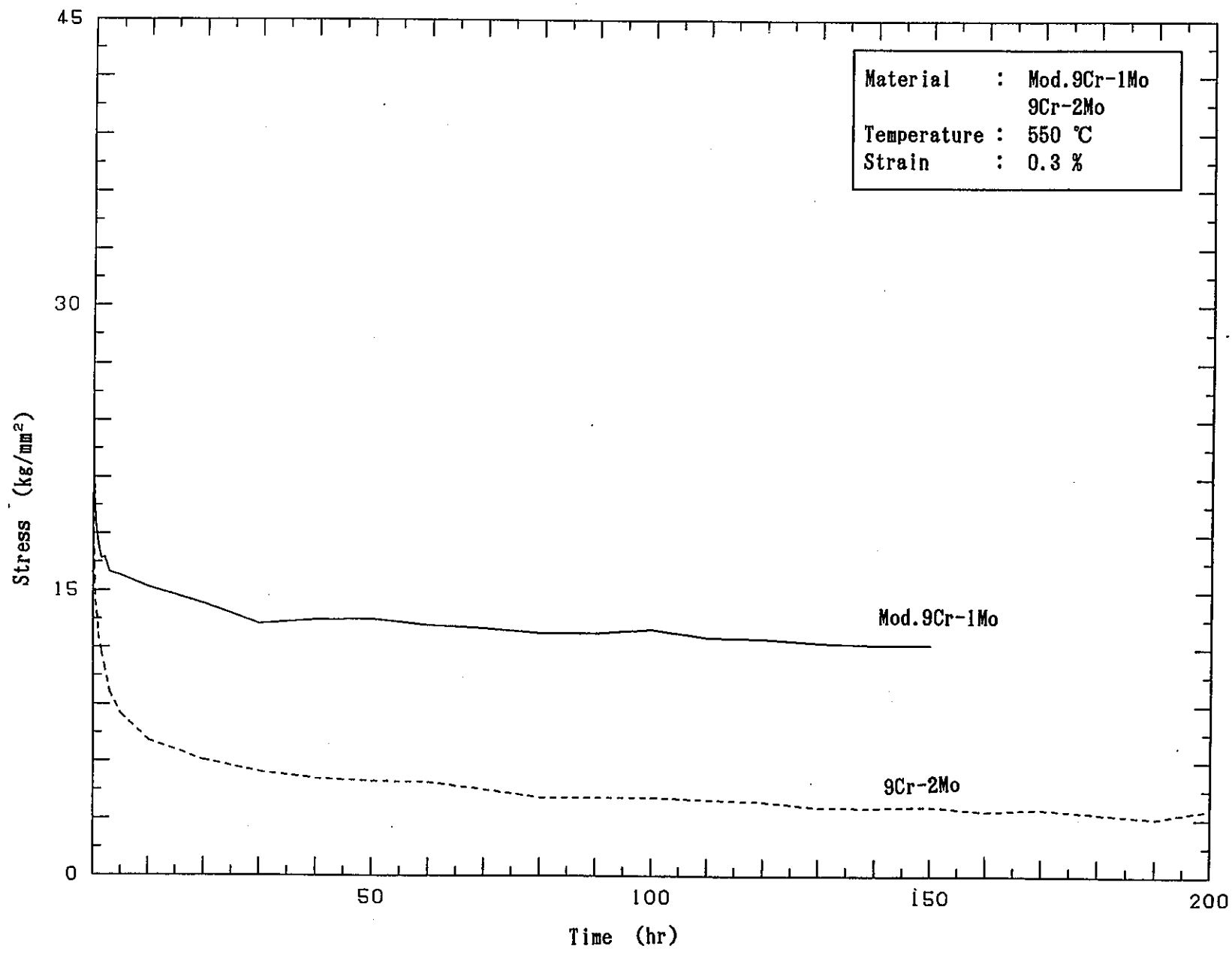


Fig.67 Comparison of Relaxation Behavior for Mod.9Cr-1Mo and 9Cr-2Mo Steels with Strain Range of 0.3% at 550°C.

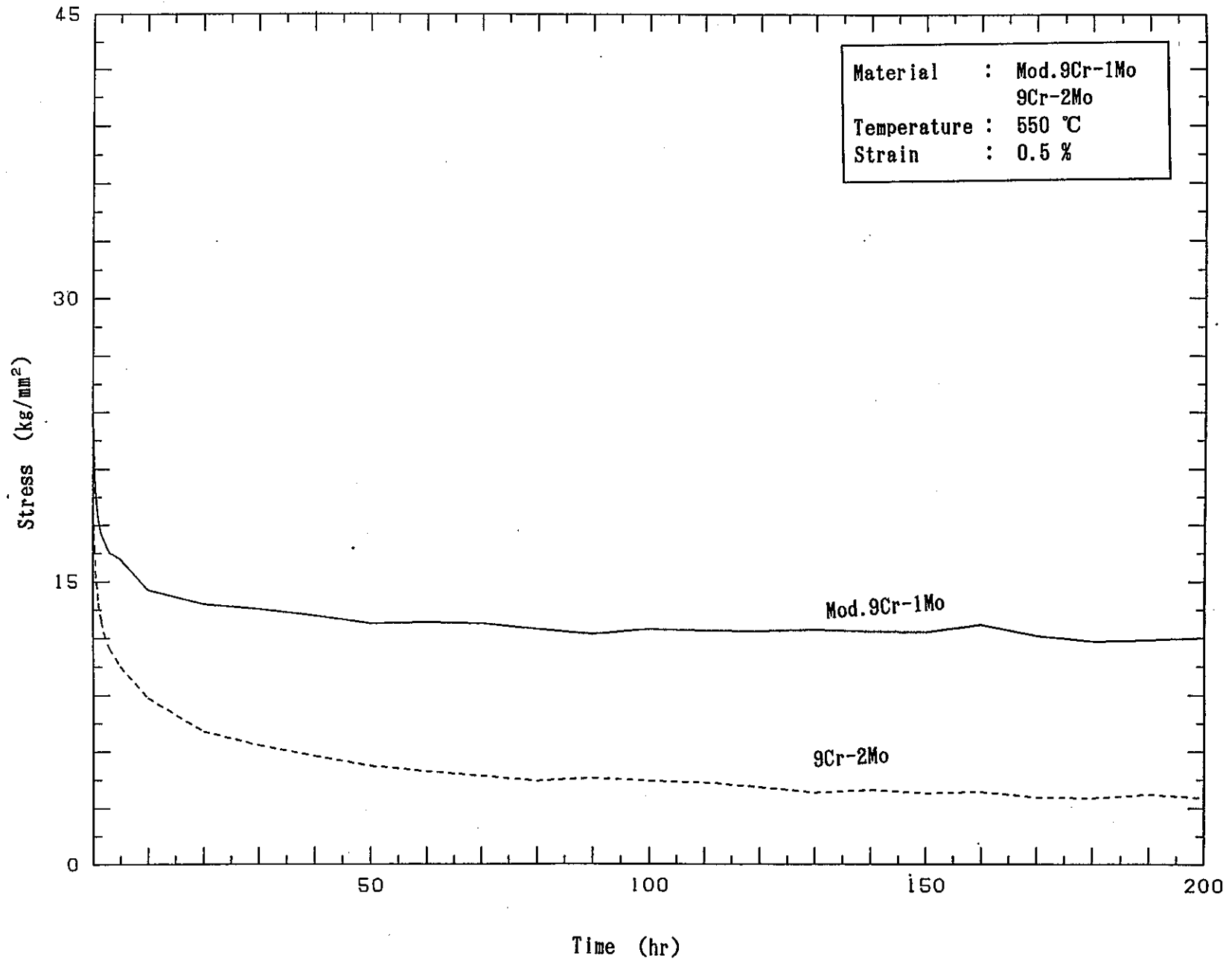


Fig.68 Comparison of Relaxation Behavior for Mod.9Cr-1Mo and 9Cr-2Mo Steels with Strain Range of 0.5% at 550°C.

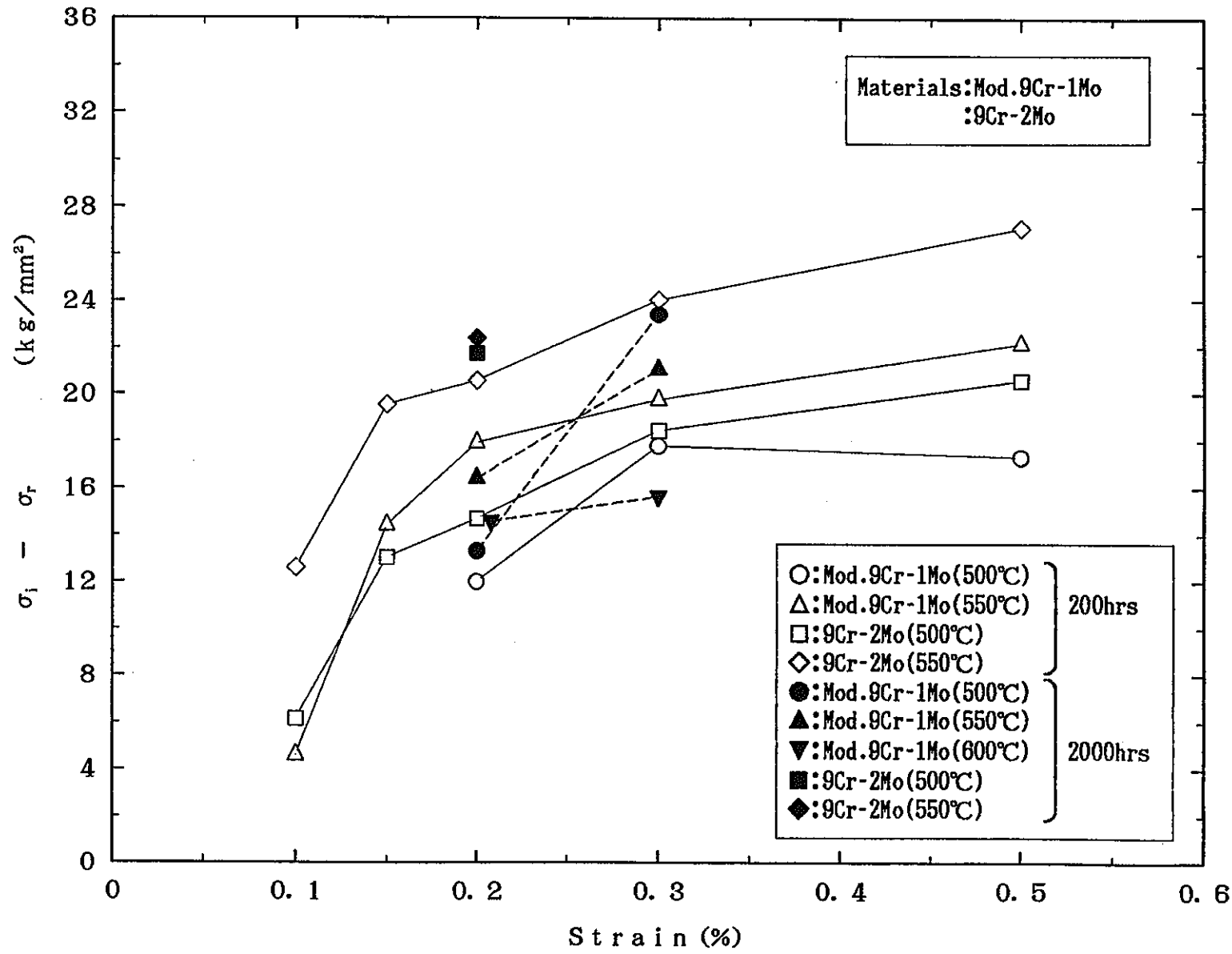


Fig.69 Comparison of Residual Stress with Strain for Mod.9Cr-1Mo and 9Cr-2Mo Steels.

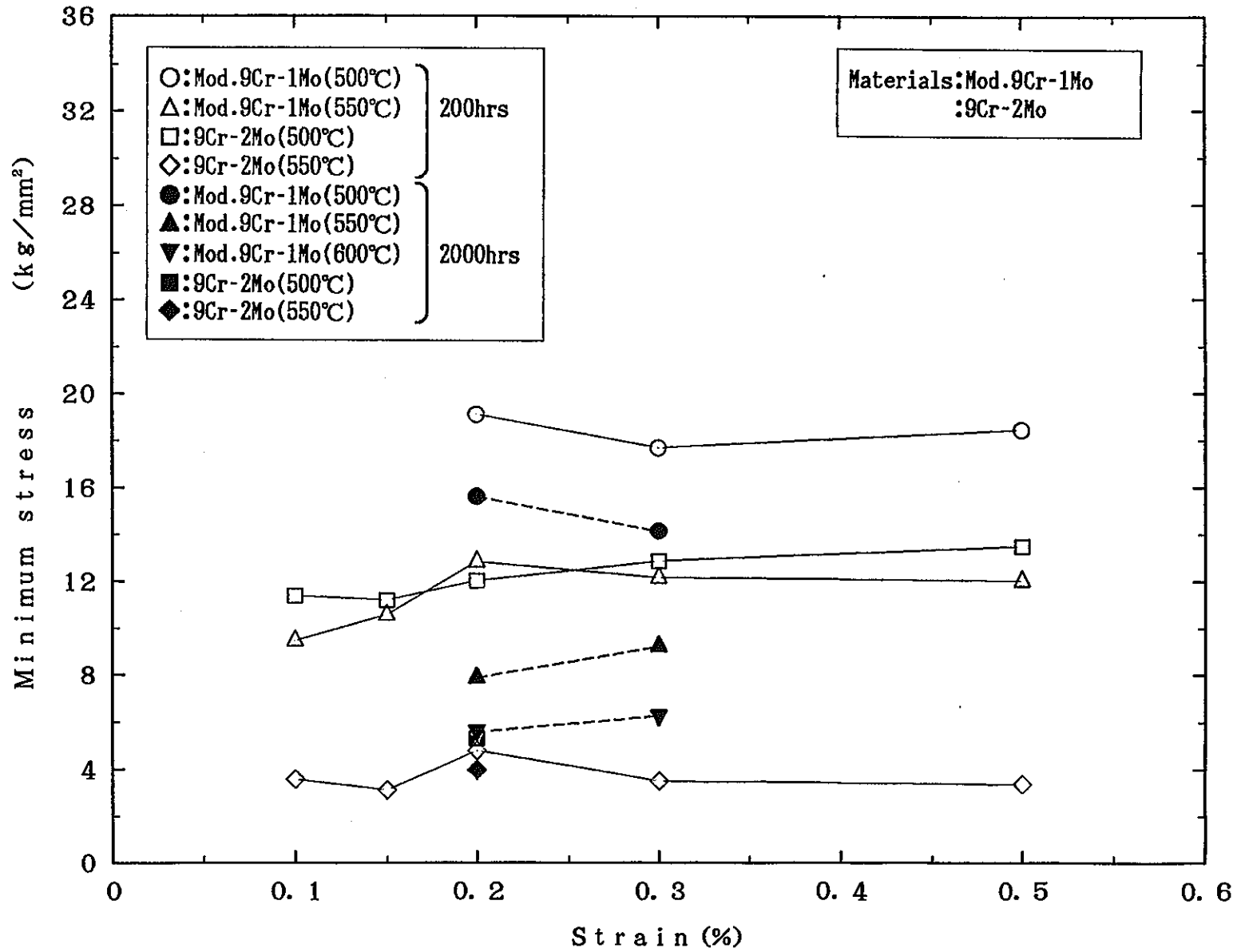


Fig.70 Relation of Minimum Stress with Strain Rate.

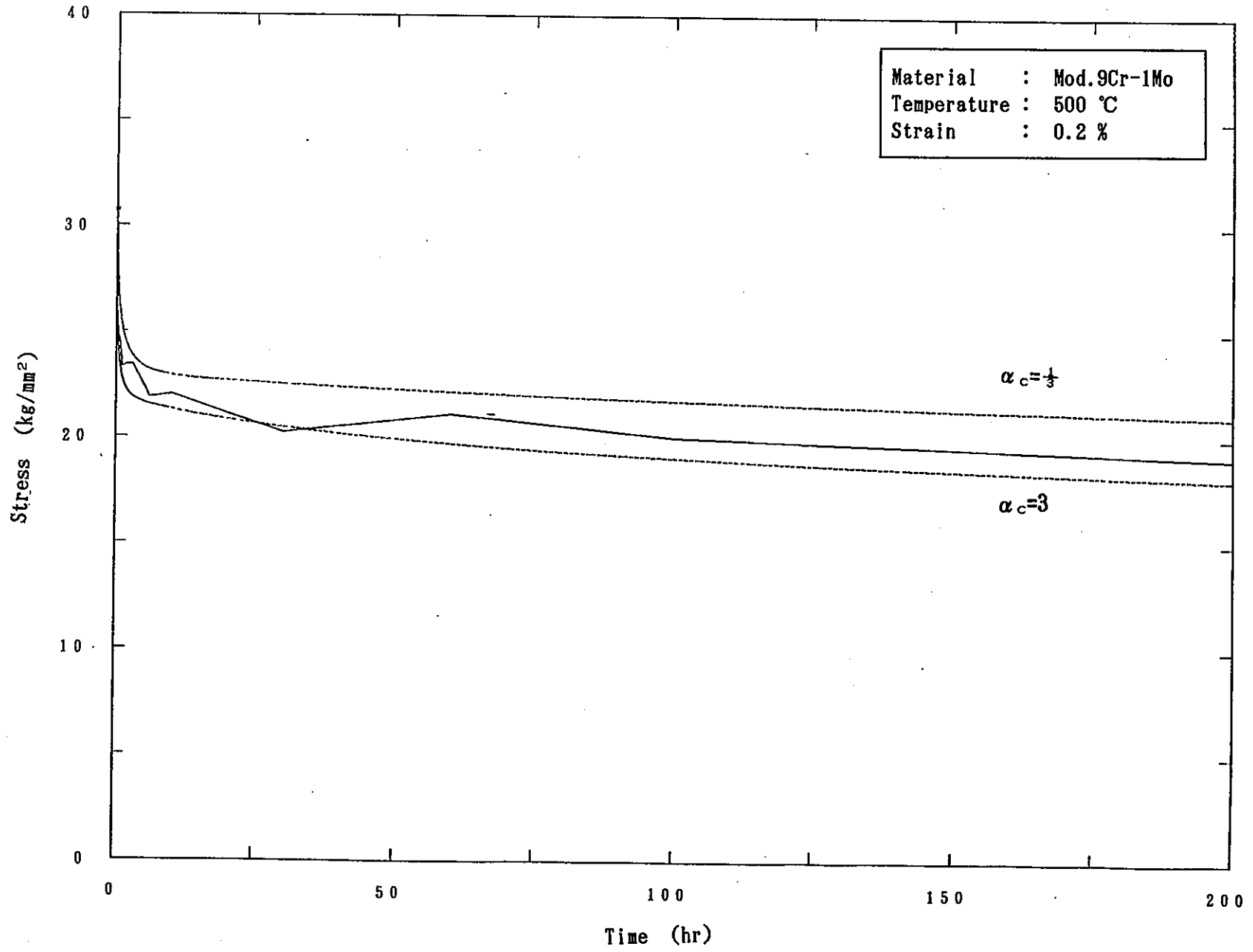


Fig.71 Comparison Relaxation Behavior and Creep Equation of Mod.9Cr-1Mo with Strain Range of 0.2% at 500°C(1).

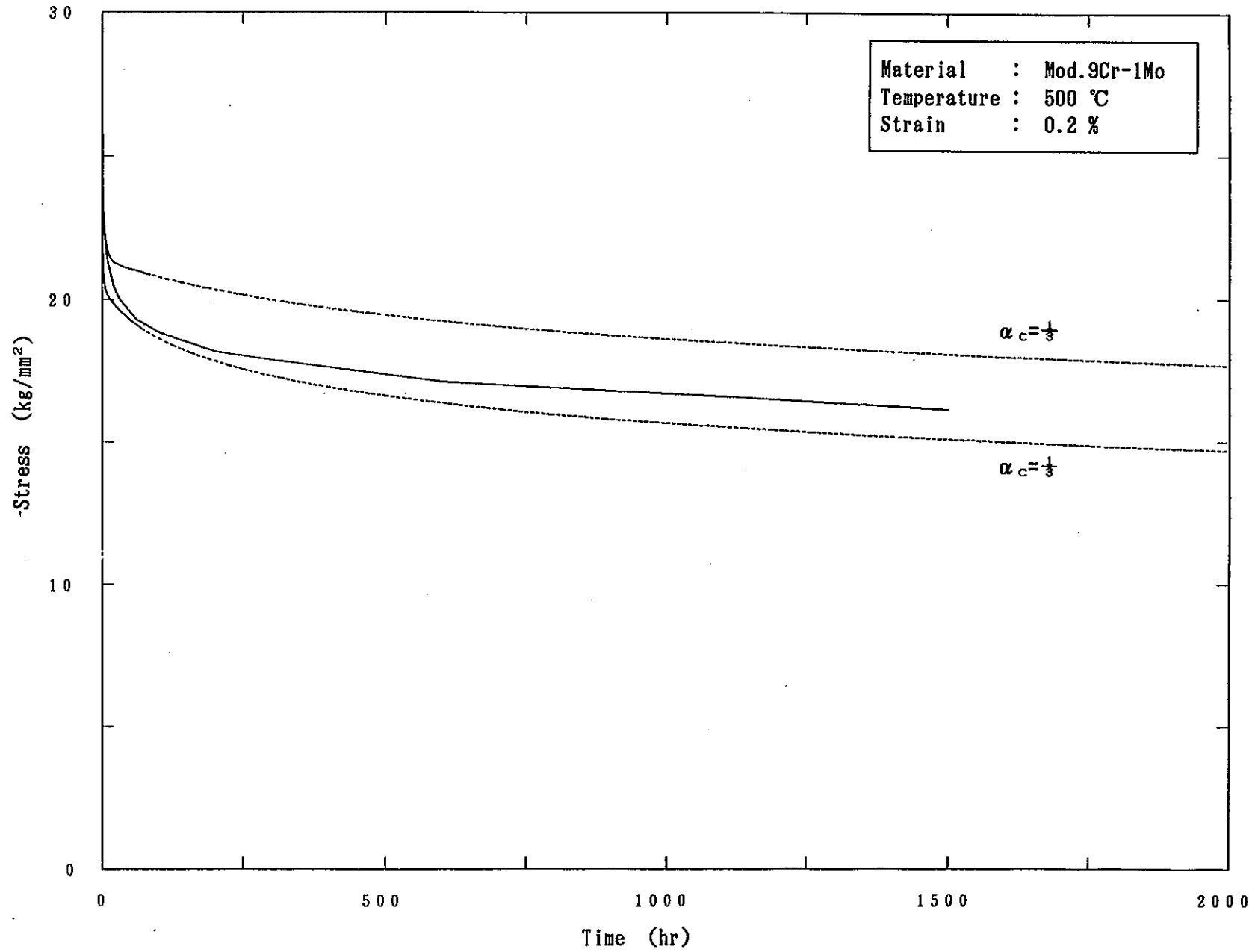


Fig.72 Comparison Relaxation Behavior and Creep Equation of Mod.9Cr-1Mo with Strain Range of 0.2% at 500°C(2).

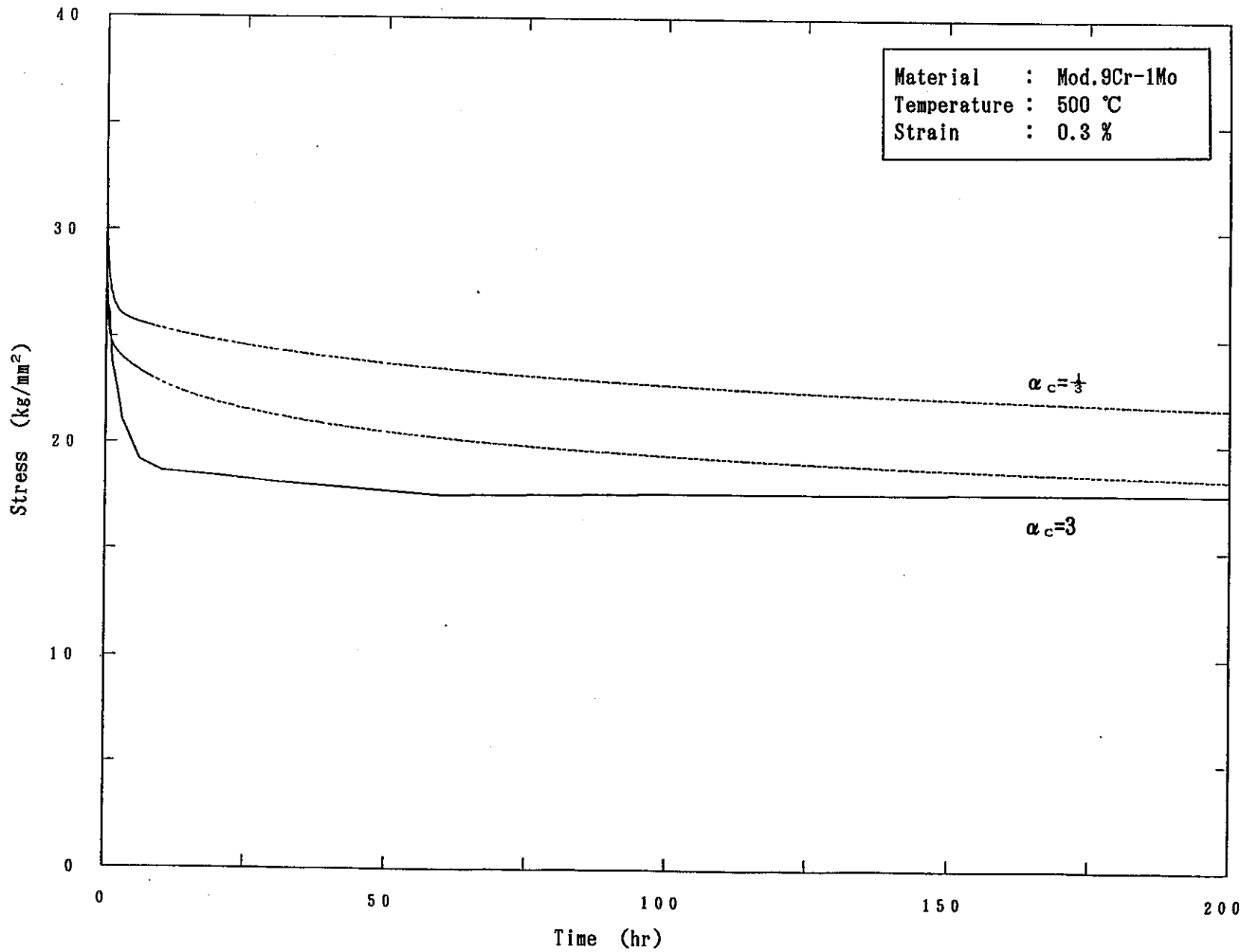


Fig.73 Comparison Relaxation Behavior and Creep Equation of Mod.9Cr-1Mo with Strain Range of 0.3% at 500°C(1).

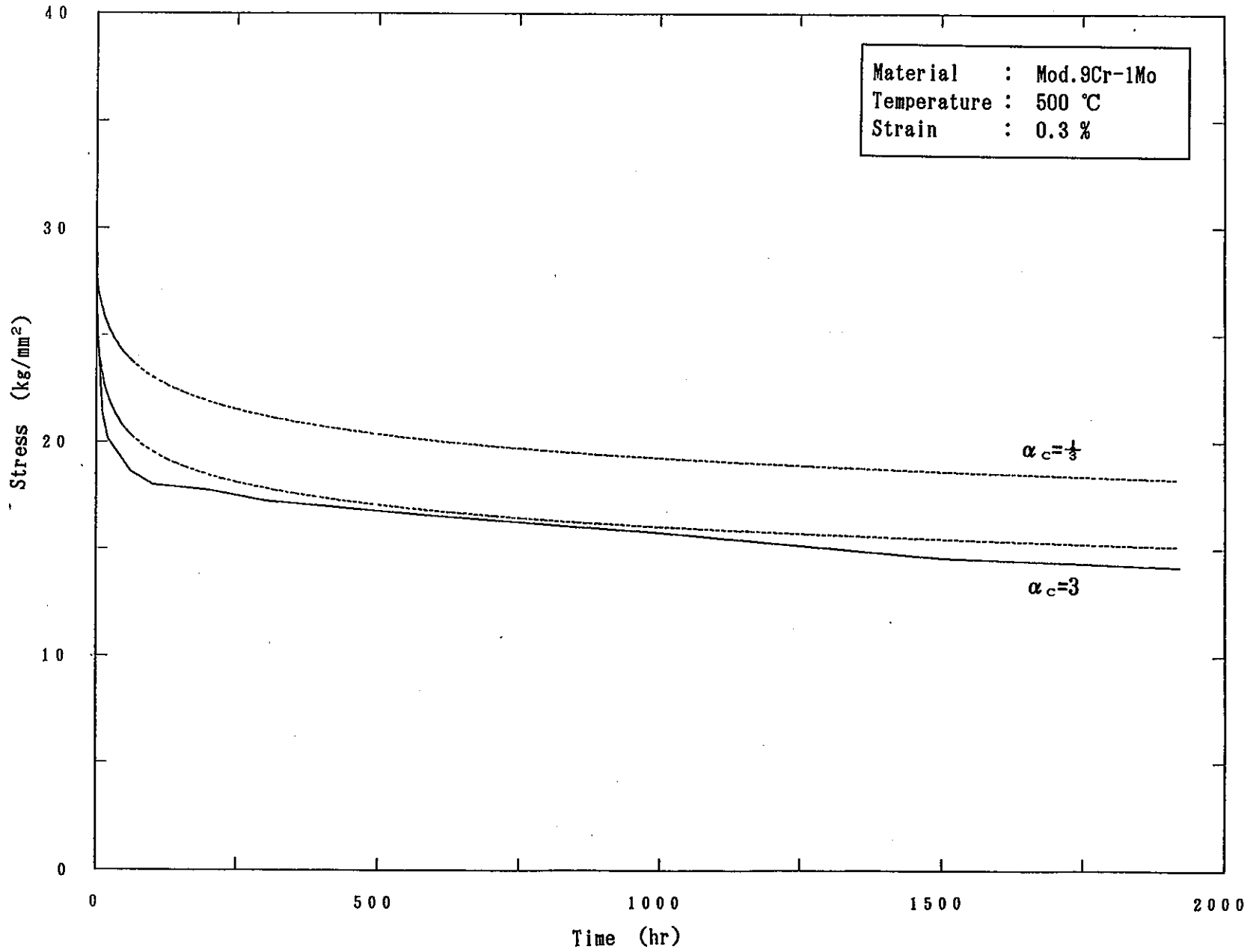


Fig.74 Comparison Relaxation Behavior and Creep Equation of Mod.9Cr-1Mo with Strain Range of 0.3% at 500°C(2).

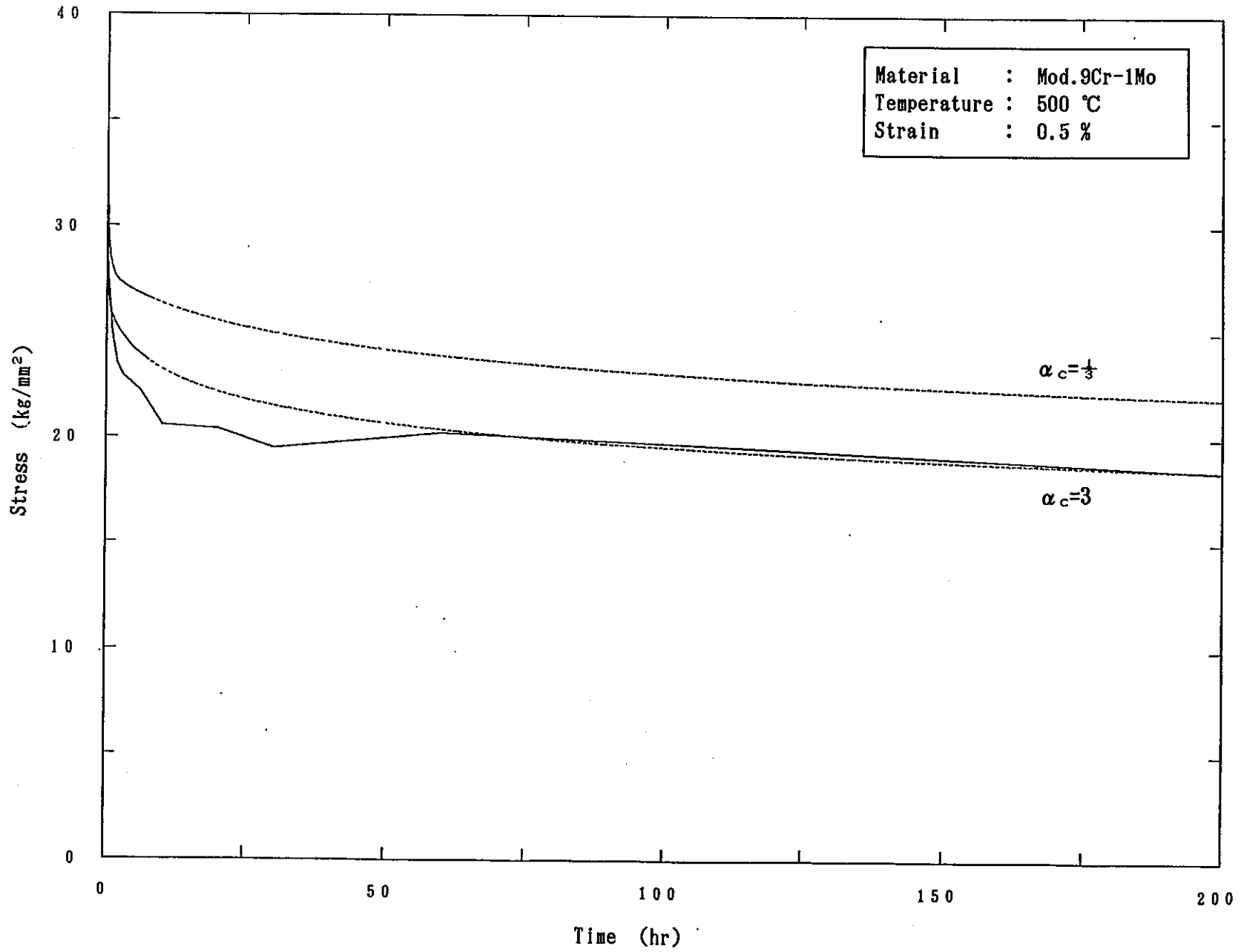


Fig.75 Comparison Relaxation Behavior and Creep Equation of Mod.9Cr-1Mo with Strain Range of 0.5% at 500°C.

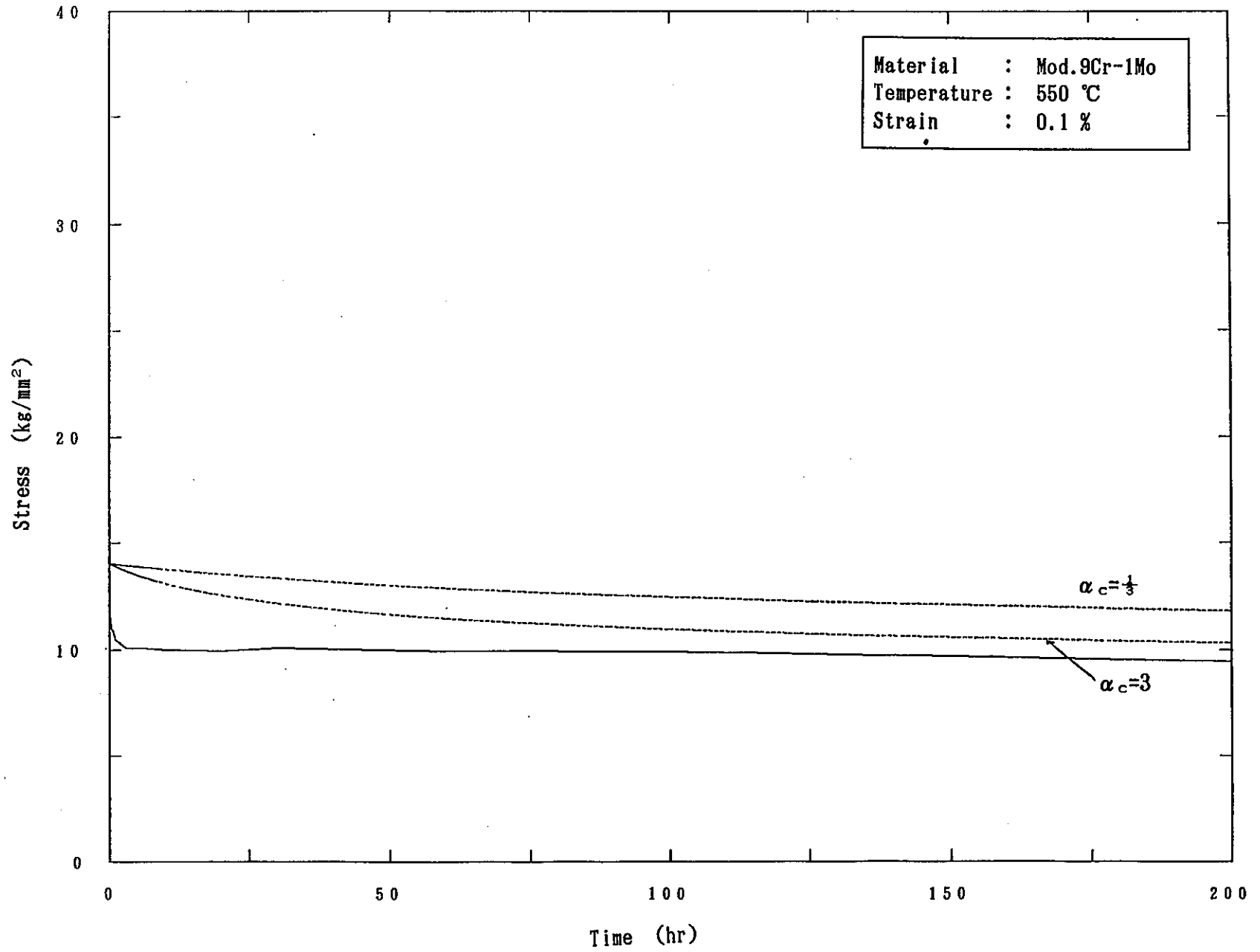


Fig.76 Comparison Relaxation Behavior and Creep Equation of Mod.9Cr-1Mo with Strain Range of 0.1% at 550°C.

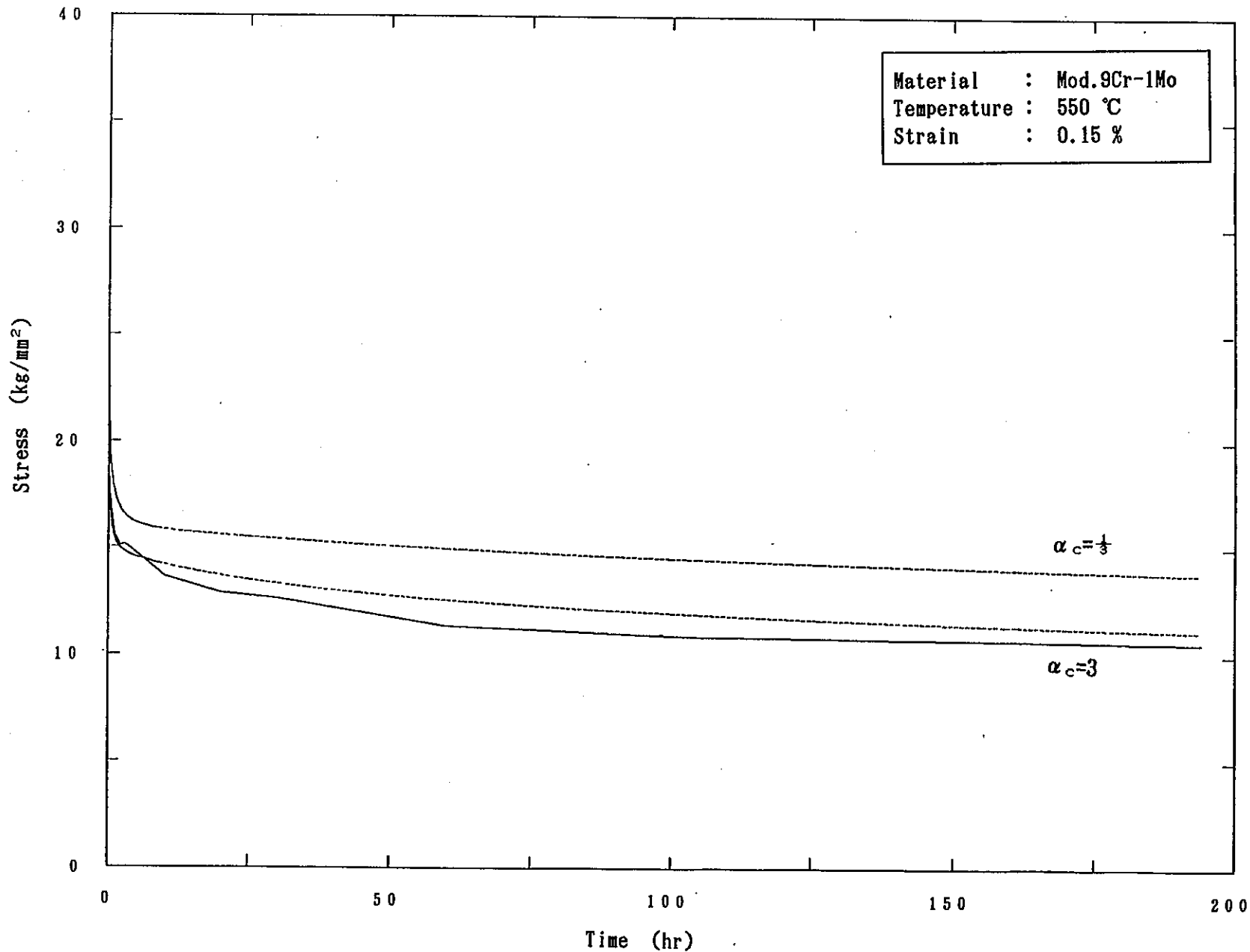


Fig.77 Comparison Relaxation Behavior and Creep Equation of Mod.9Cr-1Mo with Strain Range of 0.15% at 550°C.

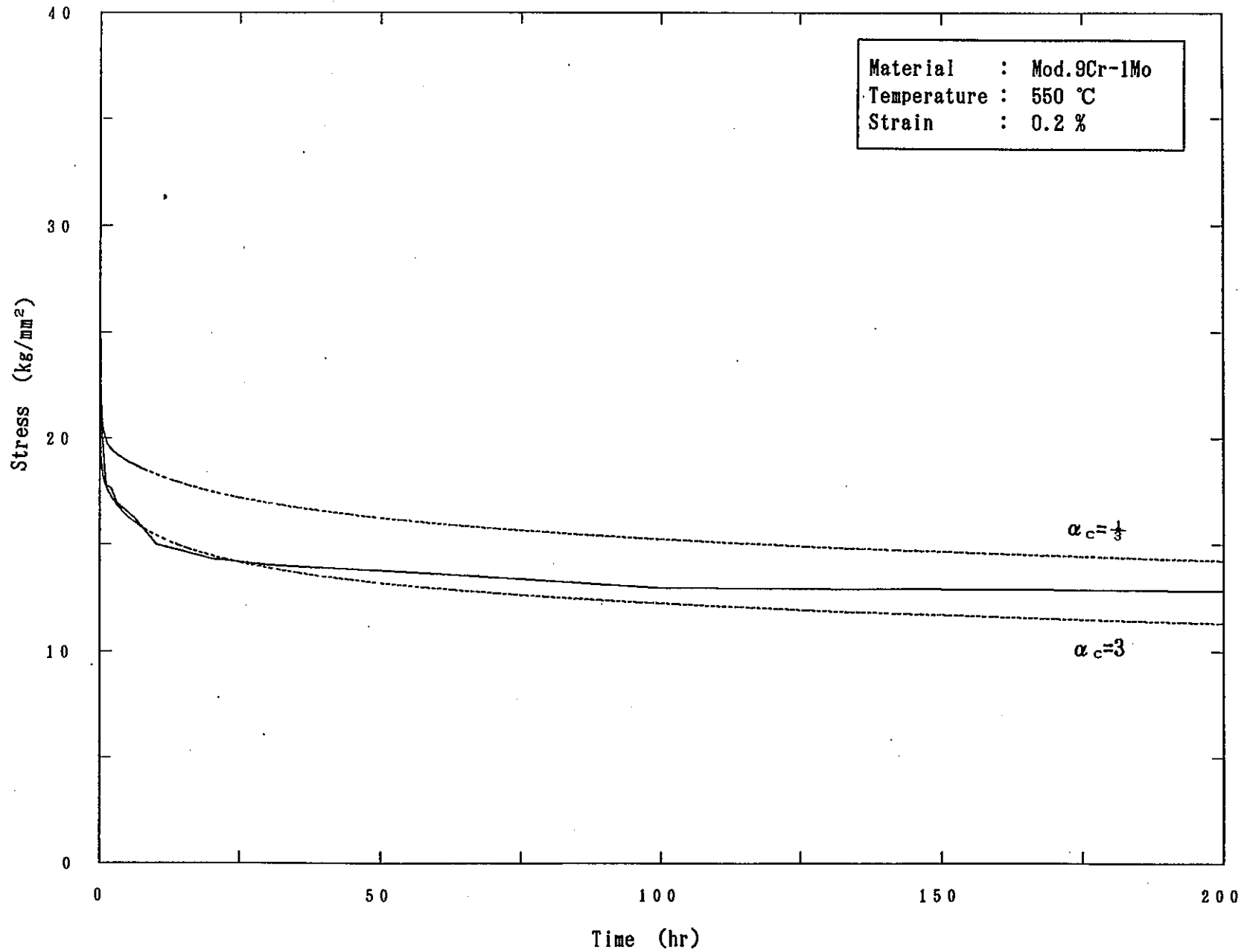


Fig.78 Comparison Relaxation Behavior and Creep Equation of Mod.9Cr-1Mo with Strain Range of 0.2% at 550°C(1).

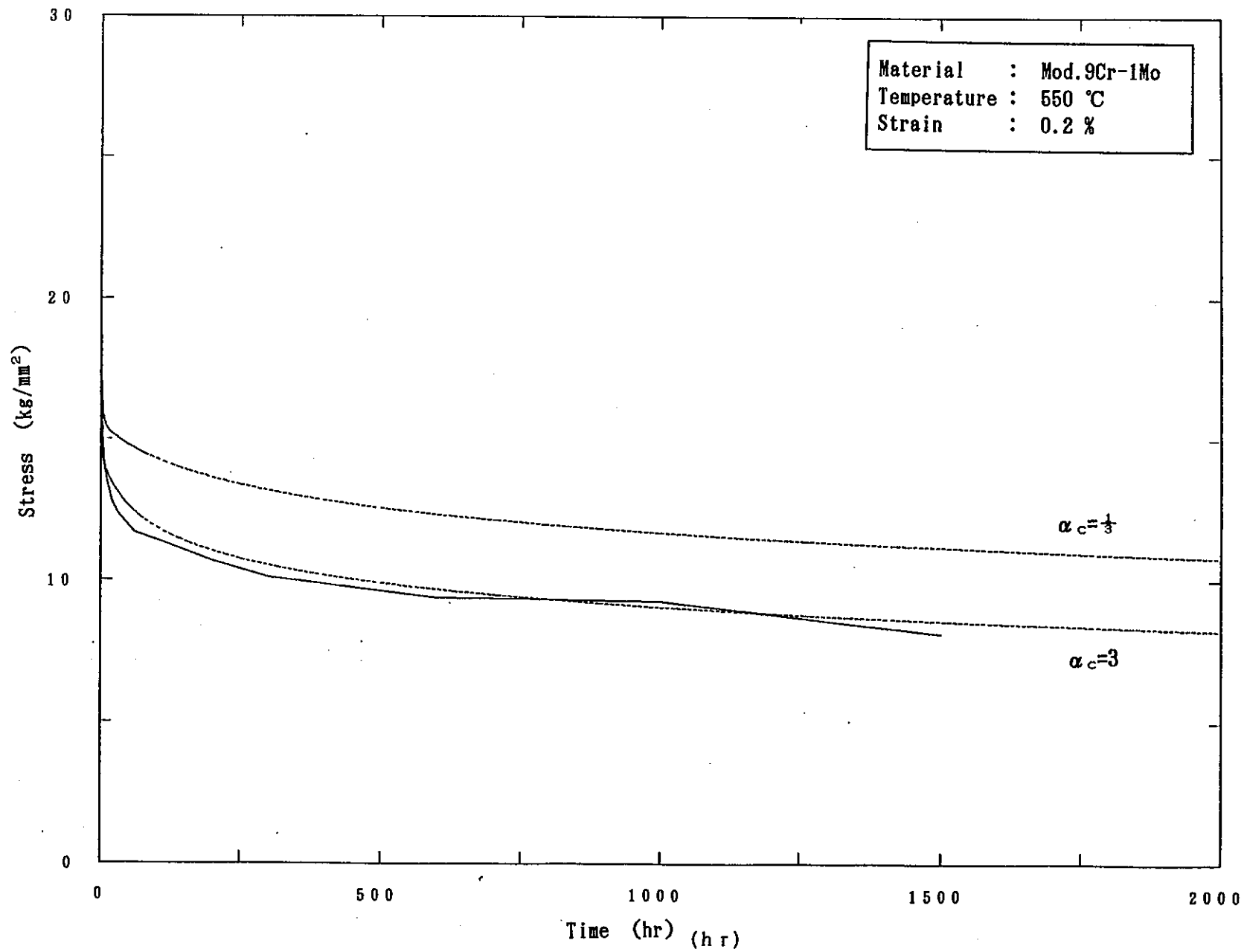
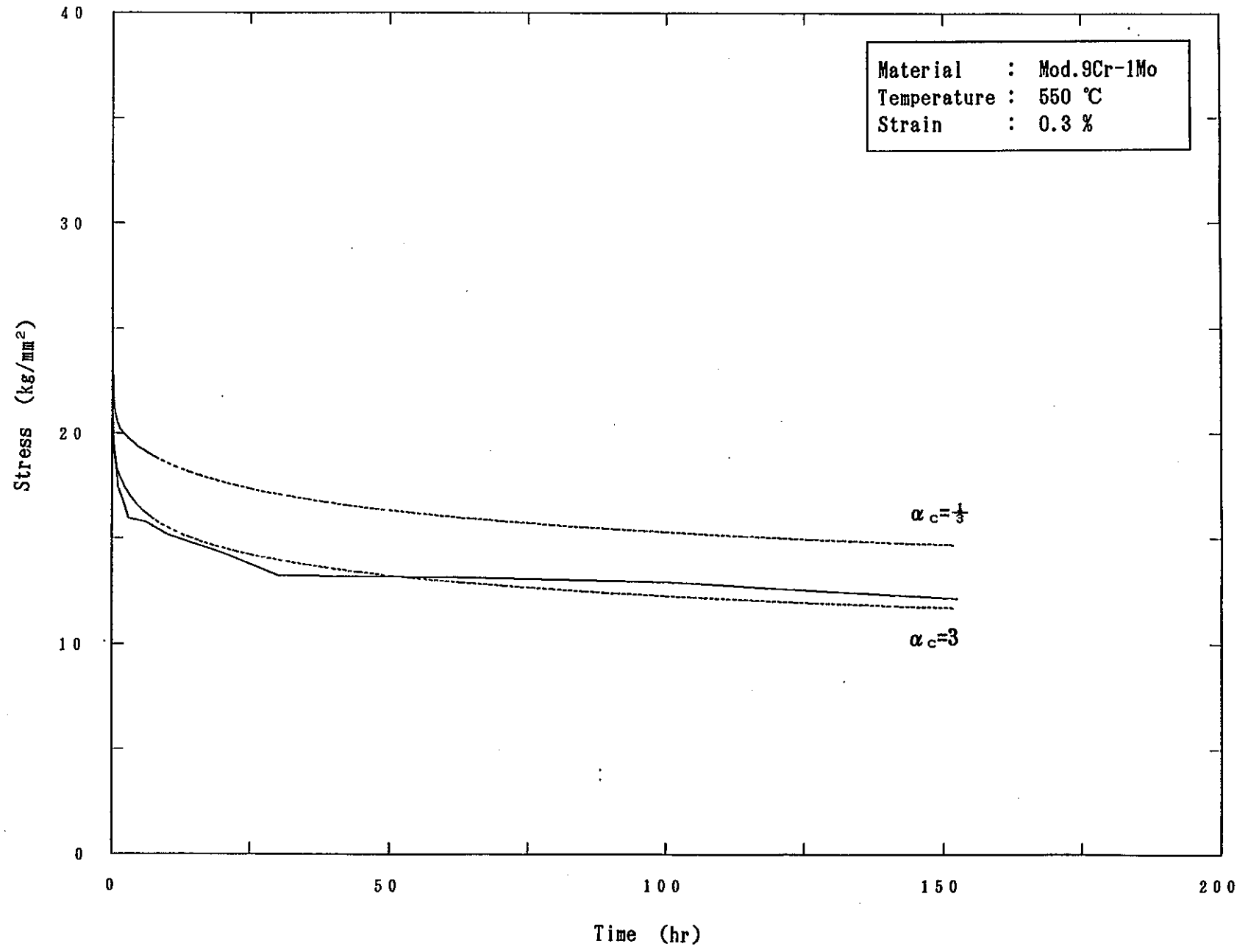


Fig.79 Comparison Relaxation Behavior and Creep Equation of Mod.9Cr-1Mo with Strain Range of 0.2% at 550°C(2).



- 120 -

Fig.80 Comparison Relaxation Behavior and Creep Equation of Mod.9Cr-1Mo with Strain Range of 0.3% at 550°C(1).

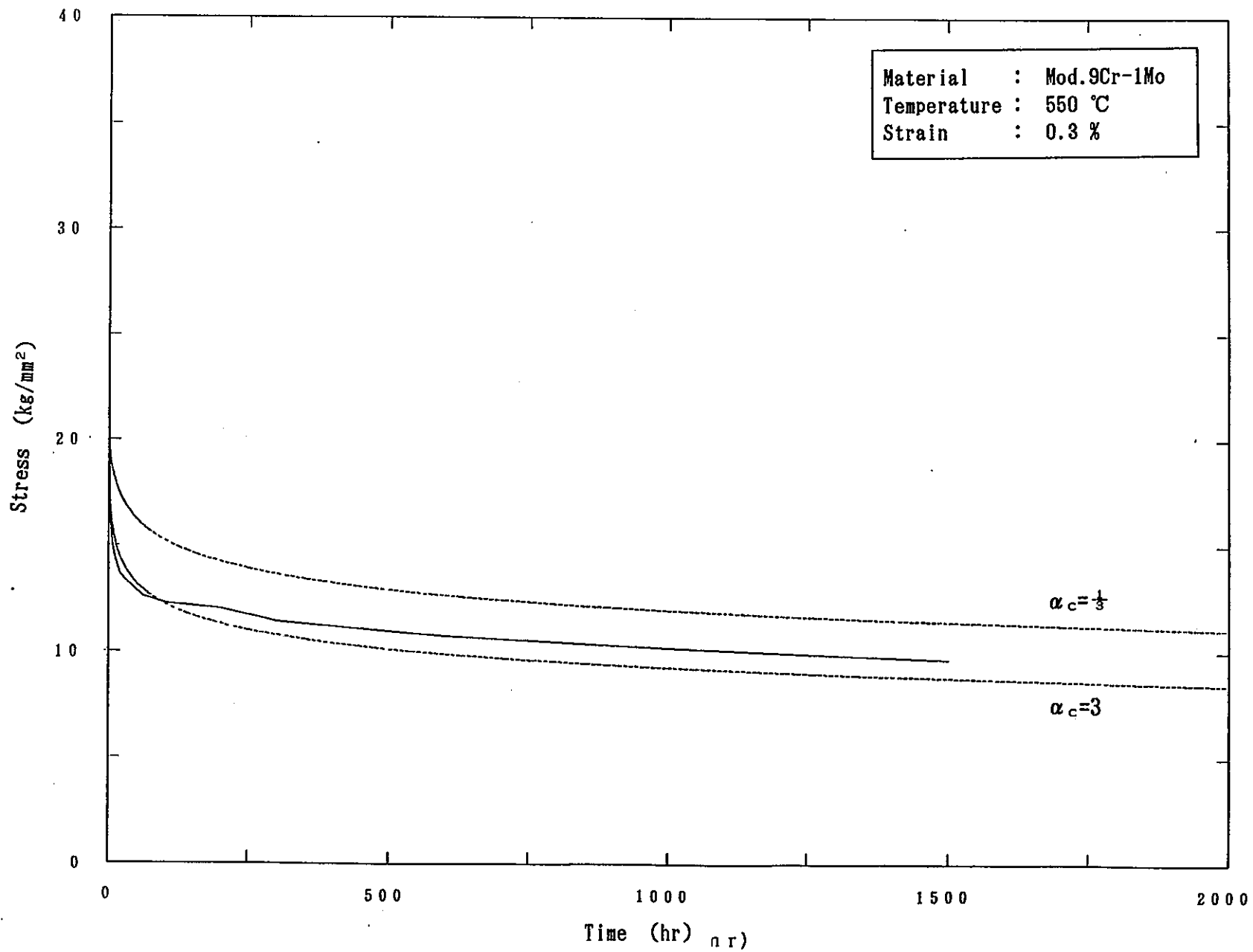


Fig.81 Comparison Relaxation Behavior and Creep Equation of Mod.9Cr-1Mo with Strain Range of 0.3% at 550°C(2).

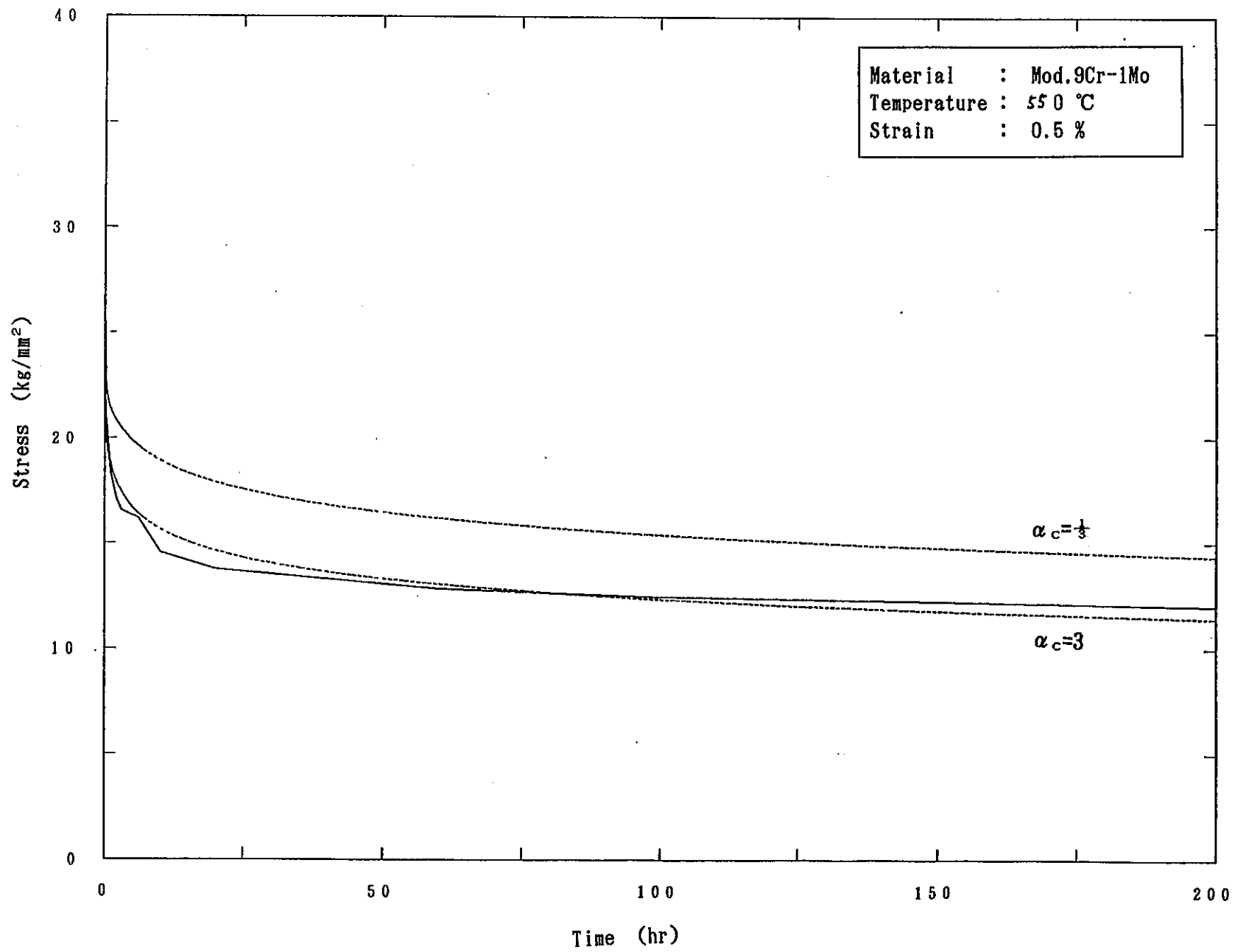


Fig.82 Comparison Relaxation Behavior and Creep Equation of Mod.9Cr-1Mo with Strain Range of 0.5% at 550°C.

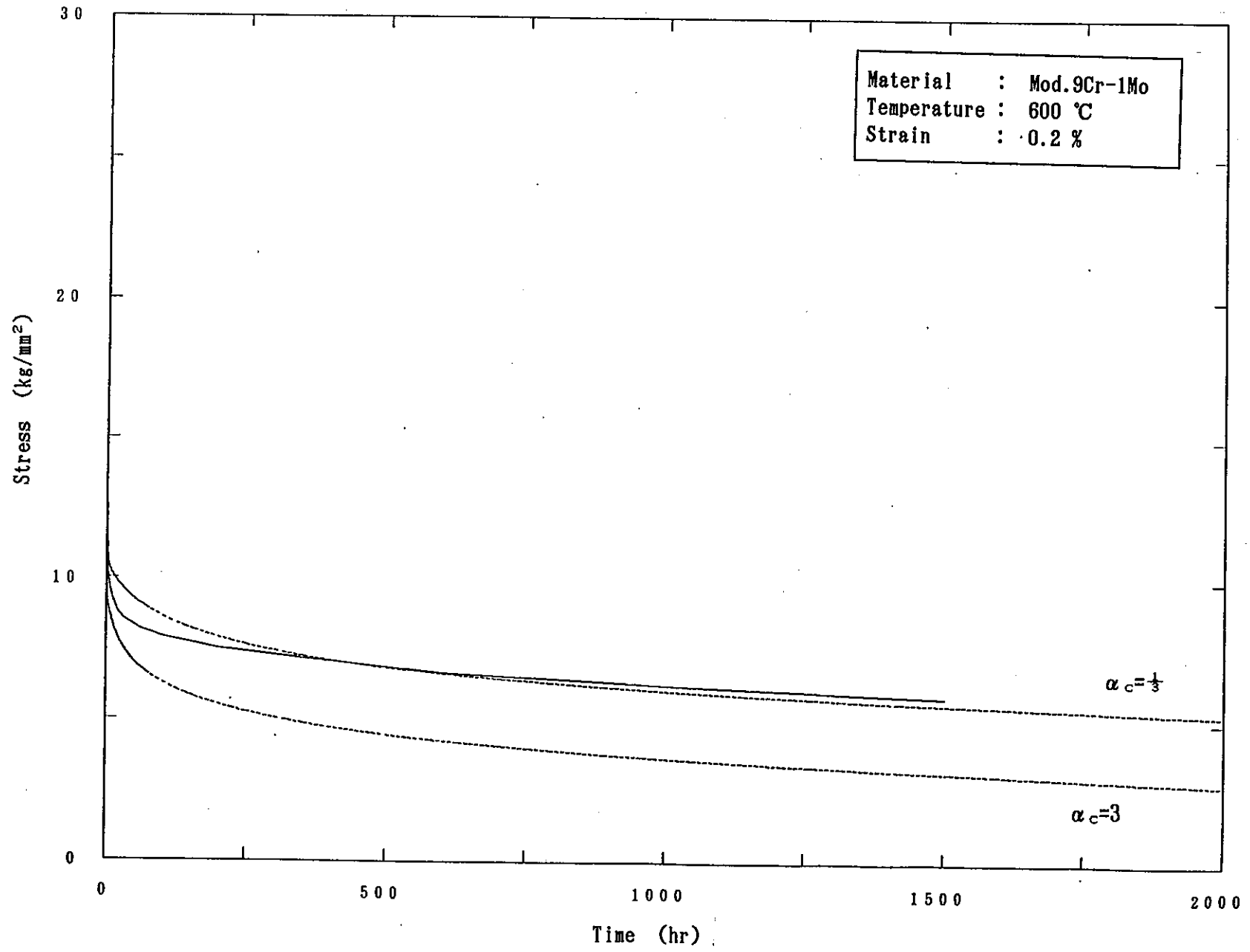


Fig.83 Comparison Relaxation Behavior and Creep Equation of Mod.9Cr-1Mo with Strain Range of 0.2% at 600°C.

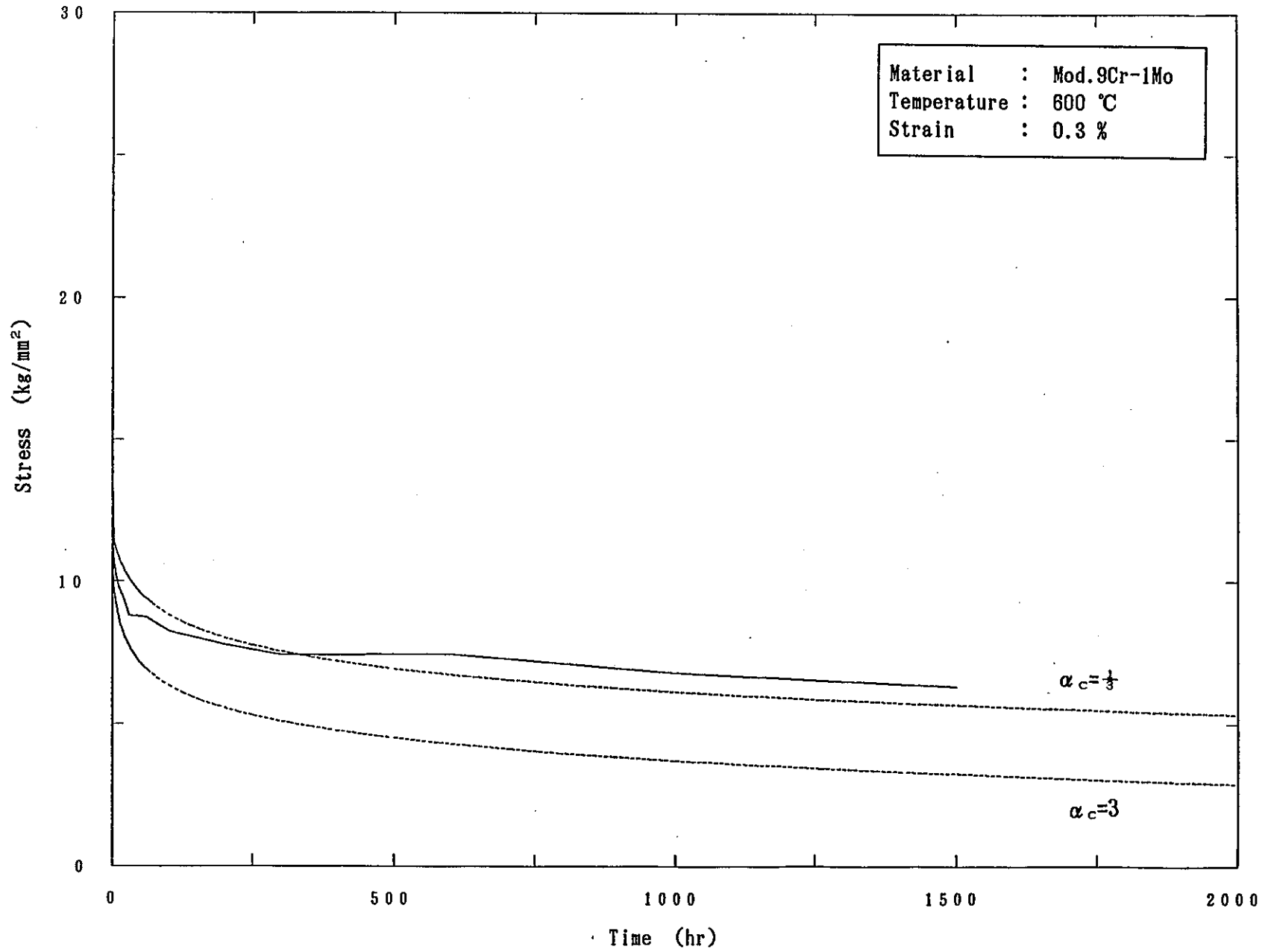


Fig.84 Comparison Relaxation Behavior and Creep Equation of Mod.9Cr-1Mo with Strain Range of 0.3% at 600°C.

A p p e n d i x

引張試験 真応力-真ひずみデータ

List of Tables

- A-Table 1 Relation Between True Stress and True Strain for Mod.9Cr-1Mo Steel Plate(1).
- A-Table 2 Relation Between True Stress and True Strain for Mod.9Cr-1Mo Steel Plate(2).
- A-Table 3 Relation Between True Stress and True Strain for Mod.9Cr-1Mo Steel Plate(3).
- A-Table 4 Relation Between True Stress and True Strain for 9Cr-2Mo Steel Plate(1).
- A-Table 5 Relation Between True Stress and True Strain for 9Cr-2Mo Steel Plate(2).
- A-Table 6 Relation Between True Stress and True Strain for 9Cr-2Mo Steel Plate(3).

A-Table 1 Relation Between True Stress and True Strain for Mod.9Cr-1Mo Steel Plate(1).

Test Temperature : R.T				Test Temperature : 100 °C				Test Temperature : 200 °C			
No. EUE6A0		No. EUE6A1		No. EUE6A2		No. EUE6A3		No. EUE6A4		No. EUE6A5	
True Strain (%)	True Stress (kg/mm ²)	True Strain (%)	True Stress (kg/mm ²)	True Strain (%)	True Stress (kg/mm ²)	True Strain (%)	True Stress (kg/mm ²)	True Strain (%)	True Stress (kg/mm ²)	True Strain (%)	True Stress (kg/mm ²)
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.020	4.134	0.020	4.113	0.020	4.386	0.020	3.930	0.020	4.025	0.020	4.127
0.040	8.267	0.040	8.226	0.040	8.771	0.040	7.860	0.040	8.049	0.040	8.254
0.060	12.401	0.060	12.338	0.060	13.157	0.060	11.789	0.060	12.074	0.060	12.381
0.080	16.534	0.080	16.451	0.080	17.542	0.080	15.719	0.080	16.098	0.080	16.508
0.100	20.668	0.100	20.564	0.100	21.928	0.100	19.649	0.100	20.123	0.100	20.636
0.150	31.001	0.150	30.846	0.150	32.891	0.150	29.473	0.150	30.185	0.150	30.953
0.200	40.557	0.200	40.627	0.200	41.168	0.200	39.104	0.200	38.657	0.200	39.210
0.250	45.485	0.250	45.681	0.250	43.942	0.250	43.154	0.250	41.674	0.250	41.985
0.300	47.155	0.300	47.346	0.300	45.112	0.300	44.790	0.300	42.854	0.300	43.195
0.350	47.954	0.350	48.199	0.350	45.766	0.350	45.581	0.350	43.683	0.350	43.873
0.400	48.608	0.400	48.762	0.400	46.284	0.400	46.199	0.400	44.327	0.400	44.468
0.450	49.067	0.450	49.204	0.450	46.692	0.450	46.669	0.450	44.746	0.450	44.980
0.500	49.433	0.500	49.614	0.500	47.068	0.500	47.023	0.500	45.227	0.500	45.415
0.550	49.711	0.550	49.938	0.550	47.411	0.550	47.431	0.550	45.554	0.550	45.800
0.600	50.069	0.600	50.248	0.600	47.712	0.600	47.761	0.600	45.930	0.600	46.134
0.650	50.369	0.650	50.546	0.650	48.033	0.650	48.055	0.650	46.287	0.650	46.454
0.700	50.685	0.700	50.838	0.700	48.364	0.700	48.352	0.700	46.664	0.700	46.841
0.750	51.005	0.750	51.130	0.750	48.622	0.750	48.667	0.750	46.989	0.750	47.195
0.800	51.330	0.800	51.422	0.800	48.907	0.800	48.997	0.800	47.287	0.800	47.526
0.850	51.572	0.850	51.709	0.850	49.207	0.850	49.262	0.850	47.600	0.850	47.822
0.900	51.806	0.900	51.992	0.900	49.543	0.900	49.525	0.900	47.913	0.900	48.132
0.950	52.085	0.950	52.270	0.950	49.856	0.950	49.799	0.950	48.224	0.950	48.466
1.000	52.367	1.000	52.548	1.000	50.047	1.000	50.073	1.000	48.534	1.000	48.781
1.200	53.502	1.200	53.614	1.200	51.155	1.200	51.154	1.200	49.647	1.200	49.957
1.400	54.595	1.400	54.631	1.400	52.147	1.400	52.142	1.400	50.688	1.400	50.951
1.600	56.473	1.600	55.901	1.600	54.639	1.600	54.244	1.600	51.687	1.600	51.950
1.800	57.740	1.800	57.463	1.800	55.388	1.800	55.006	1.800	52.582	1.800	52.754
2.000	58.558	2.000	58.451	2.000	56.136	2.000	55.753	2.000	53.275	2.000	53.575
2.200	59.348	2.200	59.302	2.200	56.892	2.200	56.500	2.200	53.967	2.200	54.403
2.400	60.044	2.400	60.152	2.400	57.650	2.400	57.264	2.400	54.657	2.400	55.091
2.600	60.741	2.600	61.002	2.600	58.351	2.600	58.028	2.600	55.343	2.600	55.748
2.800	61.397	2.800	61.692	2.800	58.979	2.800	58.759	2.800	55.928	2.800	56.314
3.000	62.052	3.000	62.382	3.000	59.607	3.000	59.309	3.000	56.422	3.000	56.881

A-Table 2 Relation Between True Stress and True Strain for Mod.9Cr-1Mo Steel Plate(2).

Test Temperature : 300 °C				Test Temperature : 400 °C				Test Temperature : 450 °C			
No. EUE6A6		No. EUE6A7		No. EUE6A8		No. EUE6A9		No. EUE6B0		No. EUE6B1	
True Strain (%)	True Stress (kg/mm ²)	True Strain (%)	True Stress (kg/mm ²)	True Strain (%)	True Stress (kg/mm ²)	True Strain (%)	True Stress (kg/mm ²)	True Strain (%)	True Stress (kg/mm ²)	True Strain (%)	True Stress (kg/mm ²)
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.020	4.076	0.020	4.051	0.020	3.728	0.020	3.865	0.020	3.431	0.020	3.502
0.040	8.152	0.040	8.101	0.040	7.456	0.040	7.729	0.040	6.863	0.040	7.004
0.060	12.228	0.060	12.152	0.060	11.184	0.060	11.594	0.060	10.294	0.060	10.506
0.080	16.304	0.080	16.202	0.080	14.912	0.080	15.458	0.080	13.725	0.080	14.008
0.100	20.379	0.100	20.253	0.100	18.640	0.100	19.323	0.100	17.157	0.100	17.511
0.150	30.569	0.150	30.379	0.150	27.949	0.150	28.984	0.150	25.770	0.150	26.017
0.200	37.648	0.200	37.671	0.200	34.083	0.200	34.976	0.200	31.854	0.200	32.045
0.250	40.406	0.250	40.204	0.250	36.777	0.250	37.523	0.250	35.322	0.250	35.754
0.300	41.476	0.300	41.505	0.300	38.598	0.300	39.319	0.300	37.433	0.300	37.885
0.350	42.635	0.350	42.432	0.350	40.044	0.350	40.474	0.350	38.817	0.350	39.316
0.400	43.313	0.400	43.071	0.400	40.922	0.400	41.304	0.400	39.809	0.400	40.346
0.450	43.968	0.450	43.659	0.450	41.698	0.450	42.134	0.450	40.542	0.450	41.220
0.500	44.473	0.500	44.261	0.500	42.405	0.500	42.776	0.500	41.208	0.500	41.988
0.550	44.936	0.550	44.715	0.550	43.008	0.550	43.300	0.550	41.772	0.550	42.525
0.600	45.360	0.600	45.124	0.600	43.534	0.600	43.814	0.600	42.370	0.600	43.004
0.650	45.778	0.650	45.522	0.650	43.961	0.650	44.293	0.650	42.780	0.650	43.540
0.700	46.176	0.700	45.901	0.700	44.402	0.700	44.692	0.700	43.187	0.700	43.944
0.750	46.558	0.750	46.277	0.750	44.840	0.750	45.088	0.750	43.552	0.750	44.326
0.800	46.930	0.800	46.631	0.800	45.256	0.800	45.475	0.800	43.911	0.800	44.671
0.850	47.270	0.850	46.962	0.850	45.604	0.850	45.849	0.850	44.244	0.850	45.003
0.900	47.590	0.900	47.261	0.900	45.936	0.900	46.150	0.900	44.561	0.900	45.324
0.950	47.875	0.950	47.540	0.950	46.258	0.950	46.485	0.950	44.861	0.950	45.612
1.000	48.188	1.000	47.816	1.000	46.579	1.000	46.784	1.000	45.138	1.000	45.913
1.200	49.415	1.200	49.035	1.200	47.702	1.200	47.907	1.200	46.183	1.200	46.968
1.400	50.414	1.400	50.004	1.400	48.723	1.400	48.914	1.400	47.013	1.400	47.716
1.600	51.284	1.600	50.818	1.600	49.504	1.600	49.776	1.600	48.081	1.600	48.753
1.800	51.853	1.800	51.443	1.800	49.973	1.800	50.382	1.800	49.005	1.800	49.758
2.000	52.343	2.000	52.048	2.000	50.442	2.000	50.923	2.000	49.512	2.000	50.259
2.200	52.815	2.200	52.562	2.200	50.902	2.200	51.383	2.200	50.018	2.200	50.735
2.400	53.321	2.400	53.075	2.400	51.336	2.400	51.836	2.400	50.456	2.400	51.198
2.600	53.857	2.600	53.538	2.600	51.757	2.600	52.264	2.600	50.871	2.600	51.659
2.800	54.333	2.800	53.971	2.800	52.144	2.800	52.675	2.800	51.296	2.800	52.098
3.000	54.806	3.000	54.403	3.000	52.531	3.000	53.013	3.000	51.733	3.000	52.488

A-Table 3 Relation Between True Stress and True Strain for Mod.9Cr-1Mo Steel Plate(3).

Test Temperature : 500 °C				Test Temperature : 550 °C				Test Temperature : 600 °C			
No. EUE6B2		No. EUE6B3		No. EUE6B4		No. EUE6B5		No. EUE6B6		No. EUE6B7	
True Strain (%)	True Stress (kg/mm ²)	True Strain (%)	True Stress (kg/mm ²)	True Strain (%)	True Stress (kg/mm ²)	True Strain (%)	True Stress (kg/mm ²)	True Strain (%)	True Stress (kg/mm ²)	True Strain (%)	True Stress (kg/mm ²)
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.020	3.350	0.020	3.297	0.020	3.004	0.020	3.188	0.020	2.599	0.020	2.621
0.040	6.701	0.040	6.593	0.040	6.008	0.040	6.376	0.040	5.199	0.040	5.242
0.060	10.051	0.060	9.890	0.060	9.013	0.060	9.564	0.060	7.798	0.060	7.863
0.080	13.402	0.080	13.186	0.080	12.017	0.080	12.752	0.080	10.397	0.080	10.484
0.100	16.752	0.100	16.483	0.100	15.021	0.100	15.940	0.100	12.996	0.100	13.105
0.150	24.420	0.150	24.418	0.150	22.101	0.150	23.258	0.150	18.540	0.150	17.908
0.200	30.488	0.200	30.115	0.200	27.531	0.200	27.801	0.200	22.557	0.200	21.406
0.250	33.991	0.250	33.782	0.250	30.500	0.250	30.531	0.250	24.785	0.250	23.577
0.300	35.945	0.300	35.823	0.300	32.351	0.300	32.154	0.300	26.086	0.300	25.066
0.350	37.358	0.350	37.136	0.350	33.396	0.350	33.166	0.350	26.836	0.350	26.045
0.400	38.254	0.400	38.070	0.400	34.166	0.400	33.891	0.400	27.371	0.400	26.726
0.450	39.001	0.450	38.758	0.450	34.773	0.450	34.409	0.450	27.857	0.450	27.306
0.500	39.570	0.500	39.422	0.500	35.295	0.500	34.934	0.500	28.083	0.500	27.701
0.550	40.128	0.550	39.926	0.550	35.613	0.550	35.336	0.550	28.274	0.550	27.942
0.600	40.531	0.600	40.372	0.600	36.039	0.600	35.607	0.600	28.441	0.600	28.170
0.650	40.892	0.650	40.671	0.650	36.269	0.650	35.831	0.650	28.598	0.650	28.352
0.700	41.271	0.700	41.034	0.700	36.411	0.700	36.057	0.700	28.673	0.700	28.460
0.750	41.542	0.750	41.374	0.750	36.615	0.750	36.238	0.750	28.739	0.750	28.570
0.800	41.821	0.800	41.677	0.800	36.769	0.800	36.437	0.800	28.863	0.800	28.693
0.850	42.075	0.850	41.954	0.850	36.929	0.850	36.616	0.850	28.915	0.850	28.743
0.900	42.311	0.900	42.137	0.900	37.111	0.900	36.719	0.900	28.928	0.900	28.753
0.950	42.510	0.950	42.344	0.950	37.196	0.950	36.820	0.950	28.941	0.950	28.781
1.000	42.714	1.000	42.544	1.000	37.293	1.000	36.917	1.000	28.980	1.000	28.822
1.200	43.430	1.200	43.259	1.200	37.638	1.200	37.265	1.200	29.091	1.200	28.010
1.400	43.888	1.400	43.786	1.400	37.752	1.400	37.383	1.400	29.161	1.400	29.014
1.600	44.741	1.600	44.654	1.600	38.769	1.600	40.129	1.600	30.269	1.600	33.298
1.800	46.059	1.800	46.020	1.800	41.051	1.800	41.102	1.800	34.055	1.800	33.934
2.000	46.814	2.000	46.791	2.000	41.634	2.000	41.356	2.000	34.528	2.000	34.248
2.200	47.280	2.200	47.253	2.200	41.925	2.200	41.597	2.200	34.635	2.200	34.384
2.400	47.677	2.400	47.604	2.400	42.111	2.400	41.827	2.400	34.754	2.400	34.499
2.600	48.019	2.600	47.978	2.600	42.296	2.600	42.029	2.600	34.804	2.600	34.569
2.800	48.329	2.800	48.367	2.800	42.453	2.800	42.222	2.800	34.831	2.800	34.531
3.000	48.643	3.000	48.639	3.000	42.584	3.000	42.347	3.000	34.852	3.000	34.558

A-Table 4 Relation Between True Stress and True Strain for 9Cr-2Mo Steel Plate(1).

Test Temperature : R.T				Test Temperature : 100 °C				Test Temperature : 200 °C			
No. EVE6A0		No. EVE6A1		No. EVE6A2		No. EVE6A3		No. EVE6A4		No. EVE6A5	
True Strain (%)	True Stress (kg/mm ²)	True Strain (%)	True Stress (kg/mm ²)	True Strain (%)	True Stress (kg/mm ²)	True Strain (%)	True Stress (kg/mm ²)	True Strain (%)	True Stress (kg/mm ²)	True Strain (%)	True Stress (kg/mm ²)
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.020	3.847	0.020	4.142	0.020	3.590	0.020	3.854	0.020	4.134	0.020	4.008
0.040	7.693	0.040	8.283	0.040	7.180	0.040	7.708	0.040	8.268	0.040	8.015
0.060	11.540	0.060	12.425	0.060	10.770	0.060	11.563	0.060	12.402	0.060	12.023
0.080	15.386	0.080	16.567	0.080	14.360	0.080	15.417	0.080	16.535	0.080	16.030
0.100	19.233	0.100	20.709	0.100	17.950	0.100	19.271	0.100	20.669	0.100	20.038
0.150	28.850	0.150	31.063	0.150	26.924	0.150	28.906	0.150	31.004	0.150	30.057
0.200	38.466	0.200	40.868	0.200	35.954	0.200	37.942	0.200	36.900	0.200	36.457
0.250	42.038	0.250	43.109	0.250	39.861	0.250	39.867	0.250	37.664	0.250	37.368
0.300	42.708	0.300	43.512	0.300	40.516	0.300	40.346	0.300	38.129	0.300	37.845
0.350	43.005	0.350	43.827	0.350	40.796	0.350	40.622	0.350	38.375	0.350	38.166
0.400	43.217	0.400	44.008	0.400	41.061	0.400	40.839	0.400	38.751	0.400	38.431
0.450	43.424	0.450	44.212	0.450	41.301	0.450	41.043	0.450	38.988	0.450	38.672
0.500	43.647	0.500	44.433	0.500	41.513	0.500	41.209	0.500	39.224	0.500	38.926
0.550	43.853	0.550	44.684	0.550	41.690	0.550	41.447	0.550	39.447	0.550	39.212
0.600	44.030	0.600	44.850	0.600	41.928	0.600	41.667	0.600	39.671	0.600	39.439
0.650	44.199	0.650	44.974	0.650	42.161	0.650	41.870	0.650	39.910	0.650	39.649
0.700	44.362	0.700	45.187	0.700	42.373	0.700	42.125	0.700	40.149	0.700	39.896
0.750	44.599	0.750	45.419	0.750	42.613	0.750	42.351	0.750	40.395	0.750	40.142
0.800	44.838	0.800	45.674	0.800	42.858	0.800	42.554	0.800	40.644	0.800	40.388
0.850	45.053	0.850	45.901	0.850	43.053	0.850	42.765	0.850	40.892	0.850	40.606
0.900	45.270	0.900	46.123	0.900	43.247	0.900	42.011	0.900	41.122	0.900	40.823
0.950	45.519	0.950	46.349	0.950	43.484	0.950	43.256	0.950	41.345	0.950	41.078
1.000	45.768	1.000	46.583	1.000	43.741	1.000	43.499	1.000	41.566	1.000	41.339
1.200	46.737	1.200	47.517	1.200	44.747	1.200	44.448	1.200	42.488	1.200	42.228
1.400	47.565	1.400	48.439	1.400	45.576	1.400	45.300	1.400	43.358	1.400	43.038
1.600	48.834	1.600	50.152	1.600	46.975	1.600	46.218	1.600	44.228	1.600	44.000
1.800	50.240	1.800	51.330	1.800	48.297	1.800	47.252	1.800	45.004	1.800	44.957
2.000	51.097	2.000	52.167	2.000	49.089	2.000	48.147	2.000	45.781	2.000	45.728
2.200	51.955	2.200	53.003	2.200	49.881	2.200	48.889	2.200	46.511	2.200	46.500
2.400	52.774	2.400	53.816	2.400	50.673	2.400	49.631	2.400	47.200	2.400	47.128
2.600	53.529	2.600	54.572	2.600	51.296	2.600	50.374	2.600	47.856	2.600	47.736
2.800	54.285	2.800	55.328	2.800	51.911	2.800	51.089	2.800	48.385	2.800	48.296
3.000	54.937	3.000	56.032	3.000	52.527	3.000	51.670	3.000	48.915	3.000	48.822

A-Table 5 Relation Between True Stress and True Strain for 9Cr-2Mo Steel Plate(2).

Test Temperature : 300 °C				Test Temperature : 400 °C				Test Temperature : 450 °C			
No EVE6A6		No EVE6A7		No EVE6A8		No EVE6A9		No EVE6B0		No EVE6B1	
True Strain (%)	True Stress (kg/mm ²)	True Strain (%)	True Stress (kg/mm ²)	True Strain (%)	True Stress (kg/mm ²)	True Strain (%)	True Stress (kg/mm ²)	True Strain (%)	True Stress (kg/mm ²)	True Strain (%)	True Stress (kg/mm ²)
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.020	3.828	0.020	3.625	0.020	3.694	0.020	3.761	0.020	3.576	0.020	3.490
0.040	7.657	0.040	7.250	0.040	7.387	0.040	7.523	0.040	7.151	0.040	6.981
0.060	11.485	0.060	10.874	0.060	11.081	0.060	11.284	0.060	10.727	0.060	10.471
0.080	15.313	0.080	14.499	0.080	14.775	0.080	15.045	0.080	14.303	0.080	13.961
0.100	19.142	0.100	18.124	0.100	18.469	0.100	18.807	0.100	17.878	0.100	17.451
0.150	28.712	0.150	27.186	0.150	27.763	0.150	27.988	0.150	25.775	0.150	25.507
0.200	34.700	0.200	34.246	0.200	32.109	0.200	32.077	0.200	29.600	0.200	29.328
0.250	35.793	0.250	35.560	0.250	33.535	0.250	33.542	0.250	31.441	0.250	31.146
0.300	36.371	0.300	36.196	0.300	34.492	0.300	34.401	0.300	32.741	0.300	32.485
0.350	36.831	0.350	36.656	0.350	35.104	0.350	35.083	0.350	33.529	0.350	33.336
0.400	37.215	0.400	37.057	0.400	35.686	0.400	35.674	0.400	34.246	0.400	34.039
0.450	37.510	0.450	37.389	0.450	36.171	0.450	36.144	0.450	34.857	0.450	34.662
0.500	37.839	0.500	37.692	0.500	36.639	0.500	36.519	0.500	35.311	0.500	35.119
0.550	38.153	0.550	38.007	0.550	37.055	0.550	36.928	0.550	35.733	0.550	35.542
0.600	38.458	0.600	38.288	0.600	37.383	0.600	37.278	0.600	36.097	0.600	35.933
0.650	38.757	0.650	38.557	0.650	37.708	0.650	37.598	0.650	36.453	0.650	36.197
0.700	39.036	0.700	38.831	0.700	38.040	0.700	37.916	0.700	36.774	0.700	36.516
0.750	39.314	0.750	39.113	0.750	38.368	0.750	38.250	0.750	37.069	0.750	36.801
0.800	39.564	0.800	39.402	0.800	38.694	0.800	38.609	0.800	37.349	0.800	37.101
0.850	39.806	0.850	39.654	0.850	38.984	0.850	38.902	0.850	37.604	0.850	37.400
0.900	40.050	0.900	39.902	0.900	39.275	0.900	39.128	0.900	37.871	0.900	37.614
0.950	40.298	0.950	40.149	0.950	39.532	0.950	39.362	0.950	38.153	0.950	37.849
1.000	40.546	1.000	40.397	1.000	39.778	1.000	39.600	1.000	38.363	1.000	38.103
1.200	41.447	1.200	41.374	1.200	40.768	1.200	40.552	1.200	39.186	1.200	38.959
1.400	42.213	1.400	42.179	1.400	41.572	1.400	41.334	1.400	39.905	1.400	39.648
1.600	42.932	1.600	42.940	1.600	42.320	1.600	41.989	1.600	40.644	1.600	40.362
1.800	43.492	1.800	43.654	1.800	42.904	1.800	42.433	1.800	41.284	1.800	41.057
2.000	44.032	2.000	44.320	2.000	43.345	2.000	42.857	2.000	41.740	2.000	41.582
2.200	44.572	2.200	44.949	2.200	43.785	2.200	43.273	2.200	42.196	2.200	42.093
2.400	45.161	2.400	45.480	2.400	44.219	2.400	43.689	2.400	42.650	2.400	42.465
2.600	45.731	2.600	45.914	2.600	44.654	2.600	44.098	2.600	43.103	2.600	42.836
2.800	46.187	2.800	46.349	2.800	45.018	2.800	44.472	2.800	43.479	2.800	43.212
3.000	46.642	3.000	46.787	3.000	45.371	3.000	44.846	3.000	43.827	3.000	43.588

A-Table 6 Relation Between True Stress and True Strain for 9Cr-2Mo Steel Plate(3).

Test Temperature : 500 °C				Test Temperature : 550 °C				Test Temperature : 600 °C			
No EVE6B2		No EVE6B3		No EVE6B4		No EVE6B5		No EVE6B6		No EVE6B7	
True Strain (%)	True Stress (kg/mm ²)	True Strain (%)	True Stress (kg/mm ²)	True Strain (%)	True Stress (kg/mm ²)	True Strain (%)	True Stress (kg/mm ²)	True Strain (%)	True Stress (kg/mm ²)	True Strain (%)	True Stress (kg/mm ²)
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.020	3.472	0.020	3.318	0.020	3.082	0.020	3.273	0.020	2.442	0.020	2.797
0.040	6.943	0.040	6.637	0.040	6.163	0.040	6.545	0.040	4.883	0.040	5.595
0.060	10.415	0.060	9.955	0.060	9.245	0.060	9.818	0.060	7.325	0.060	8.392
0.080	13.886	0.080	13.274	0.080	12.326	0.080	13.091	0.080	9.767	0.080	11.189
0.100	17.358	0.100	16.592	0.100	15.408	0.100	16.213	0.100	12.208	0.100	13.899
0.150	24.481	0.150	23.700	0.150	21.781	0.150	22.199	0.150	17.670	0.150	18.496
0.200	28.333	0.200	27.812	0.200	25.357	0.200	25.758	0.200	20.997	0.200	21.451
0.250	30.147	0.250	29.917	0.250	27.630	0.250	27.803	0.250	22.885	0.250	23.022
0.300	31.439	0.300	31.217	0.300	28.749	0.300	28.944	0.300	23.988	0.300	24.079
0.350	32.304	0.350	32.036	0.350	29.653	0.350	29.777	0.350	24.704	0.350	24.745
0.400	32.858	0.400	32.804	0.400	30.121	0.400	30.258	0.400	25.228	0.400	25.199
0.450	33.410	0.450	33.319	0.450	30.616	0.450	30.669	0.450	25.634	0.450	25.465
0.500	33.817	0.500	33.697	0.500	30.965	0.500	31.035	0.500	25.835	0.500	25.747
0.550	34.161	0.550	34.076	0.550	31.241	0.550	31.312	0.550	26.074	0.550	25.913
0.600	34.429	0.600	34.423	0.600	31.431	0.600	31.536	0.600	26.204	0.600	26.078
0.650	34.747	0.650	34.724	0.650	31.667	0.650	31.771	0.650	26.288	0.650	26.186
0.700	35.111	0.700	34.981	0.700	31.824	0.700	31.939	0.700	26.405	0.700	26.254
0.750	35.307	0.750	35.233	0.750	31.953	0.750	32.074	0.750	26.545	0.750	26.308
0.800	35.501	0.800	35.478	0.800	32.080	0.800	32.195	0.800	26.595	0.800	26.374
0.850	35.709	0.850	35.655	0.850	32.206	0.850	32.318	0.850	26.607	0.850	26.420
0.900	35.896	0.900	35.813	0.900	32.315	0.900	32.423	0.900	26.612	0.900	26.457
0.950	36.063	0.950	35.945	0.950	32.397	0.950	32.504	0.950	26.648	0.950	26.482
1.000	36.210	1.000	36.140	1.000	32.479	1.000	32.625	1.000	26.676	1.000	26.506
1.200	36.824	1.200	36.855	1.200	32.737	1.200	32.987	1.200	26.759	1.200	26.540
1.400	37.367	1.400	37.309	1.400	33.011	1.400	33.154	1.400	26.708	1.400	26.504
1.600	38.017	1.600	37.915	1.600	33.757	1.600	34.027	1.600	29.578	1.600	28.796
1.800	38.724	1.800	38.589	1.800	35.036	1.800	35.166	1.800	30.353	1.800	29.539
2.000	39.319	2.000	39.222	2.000	35.550	2.000	35.625	2.000	30.708	2.000	30.144
2.200	39.767	2.200	39.769	2.200	35.936	2.200	35.997	2.200	31.024	2.200	30.576
2.400	40.200	2.400	40.150	2.400	36.264	2.400	36.285	2.400	31.246	2.400	30.866
2.600	40.539	2.600	40.475	2.600	36.533	2.600	36.528	2.600	31.411	2.600	31.051
2.800	40.877	2.800	40.775	2.800	36.786	2.800	36.769	2.800	31.558	2.800	31.189
3.000	41.165	3.000	41.080	3.000	36.988	3.000	37.008	3.000	31.571	3.000	31.306