

高クロムモリブデン鋼の基本材料特性試験 (Ⅲ)

極厚鍛鋼品 (250~280mm t) のクリープ特性

1991年2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 (Ⅲ)

極厚鍛鋼品(250~280mm^t)のクリープ特性

青木昌典* 加藤章一*
吉田英一* 和田雄作*

要 旨

次期大型炉の蒸気発生器管板用材料として適用が検討されている高クロムモリブデン鋼極厚鍛鋼品(厚さ250~280mm)のクリープ破断特性および試料採取位置による材料特性への影響を把握することを目的に、500℃および550℃における大気中クリープ試験を実施した。供試材にはMod. 9Cr-1Mo鋼(F4, F8ヒート)をはじめとし、9Cr-2Mo鋼(H6ヒート)および9Cr-1Mo-Nb-V鋼(G3ヒート)の3鋼種4ヒートを用いた。

得られた結果は以下の通りである。

- (1) 高クロムモリブデン鋼3鋼種4ヒートについて、材料特性評価の上で基本となるクリープ特性データを最長約10,000時間まで取得した。
- (2) クリープ破断強度を鋼種間で比較すると、500℃および550℃ともMod. 9Cr-1Mo鋼>9Cr-1Mo-Nb-V鋼>9Cr-2Mo鋼の強度順となり、Mod. 9Cr-1Mo鋼が優れたクリープ破断強度を示した。
- (3) 各鋼種の試料採取位置によるクリープ強度への影響を見ると、Mod. 9Cr-1Mo鋼では試料採取位置による有意な差異がほとんど認められないが、9Cr-2Mo鋼および9Cr-1Mo-Nb-V鋼では、表面直下中央部のL方向の破断時間が長くなり、t/2肉厚中央部のZ方向で、破断時間が短くなる傾向を示した。
- (4) 9Cr-2Mo鋼のクリープ破断強度は、Mod. 9Cr-1Mo鋼(F4, F8)および9Cr-1Mo-Nb-V鋼と比較し低いものの、クリープ破断伸びおよび絞りは、他の3材料と比較して大きい値を示し、その傾向は、試料採取位置によらず同様の傾向となった。

今回の試験結果から、高クロムモリブデン鋼鍛鋼品(250~280mm^t)の中では、Mod. 9Cr-1Mo鋼が優れたクリープ破断特性を有していることが明らかになった。

* 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. (III)

Creep Properties of High Cr-Mo Steel forgings(250~280mmt)

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

A b s t r a c t

This study was performed in order to confirm the influence of sampling method on Creep properties of 9Cr-Mo steel forgings which are promising as candidate materials for steam generator of large scale fast breeder reactor. This results are to be reflected on foundation of materials strength standard. Test materials are four kinds of 9Cr-Mo steel forgings(thickness:250~280mmt) such as Mod. 9Cr-1Mo(F4, F8 heats), 9Cr-1Mo-Nb-V(G3 heat), 9Cr-2Mo(H6 heat)steels.

Results obtained are summarized as follows.

- (1) In order to evaluation of fundamental material properties, creep-rupture data on three kinds of 9Cr-Mo steel forgings such as Mod. 9Cr-1Mo, 9Cr-2Mo and 9Cr-1Mo-Nb-V steels was obtained up to 10,000 hours.
- (2) The Mod. 9Cr-1Mo steel exhibited most excellent creep-rupture strength and the 9Cr-2Mo steel was the worst among the three.
- (3) The effect of the sampling location of specimens on creep strength was not significant for Mod. 9Cr-1Mo steel. But for 9Cr-1Mo-Nb-V steel and 9Cr-2Mo steel, longer creep rupture time was observed with specimens taken from just below the center of the surface with direction of L, and shorter creep rupture time was observed for those taken from t/2 thickness at the center with direction of Z.
- (4) Creep strength of 9Cr-2Mo steel was lower than that of Mod. 9Cr-1Mo(F4, F8) and 9Cr-1Mo-Nb-V steel. But rupture elongation and reduction of area of 9Cr-2Mo steel was greater than that of other three materials, irrespective of the sampling location of specimens.

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

目 次

1. はじめに	1
2. 試験方法	3
2.1 供試材および試験片形状	3
2.2 試料採取要領	3
2.3 大気中クリープ試験機	3
2.4 大気中クリープ試験方法	3
3. 試験結果	5
3.1 Mod. 9Cr-1Mo鋼 (F 4)	5
3.2 Mod. 9Cr-1Mo鋼 (F 8)	6
3.3 9Cr-2Mo鋼 (H 6)	7
3.4 9Cr-1Mo-Nb-V鋼 (G 3)	8
4. 試験結果の検討	10
4.1 クリープ特性に及ぼす試料採取位置の検討	10
4.2 鋼種間のクリープ特性の比較	11
5. まとめ	14
参考文献	15

List of Figures

- Fig. 1 Creep Rupture Test Specimen for 9Cr-Mo Steel Forgings
- Fig. 2 Sampling Method of Creep test Specimens of 9Cr-Mo Steel forgings
- Fig. 3 Creep Rupture Properties of Mod. 9Cr-1Mo(F4) Steel Forging.
- Fig. 4 Relation Between Fracture Elongation and Time to Rupture of Mod. 9Cr-1Mo(F4) Steel Forging.
- Fig. 5 Relation Between Reduction of Area and Time to Rupture of Mod. 9Cr-1Mo(F4) Steel Forging.
- Fig. 6 Steady Creep Rate of Mod. 9Cr-1Mo(F4) Steel Forging.
- Fig. 7 Relation Between Steady Creep Rate and Time to Rupture of Mod. 9Cr-1Mo(F4) Steel Forging.
- Fig. 8 Time to Tertiary Creep of Mod. 9Cr-1Mo(F4) Steel Forging.
- Fig. 9 Relation Between Time to Tertiary Creep and Time to Rupture of Mod. 9Cr-1Mo (F4) Steel Forging.
- Fig. 10 Creep Rupture Properties of Mod. 9Cr-1Mo(F8) Steel Forging.
- Fig. 11 Relation Between Fracture Elongation and Time to Rupture of Mod. 9Cr-1Mo(F8) Steel Forging.
- Fig. 12 Relation Between Reduction of Area and Time to Rupture of Mod. 9Cr-1Mo(F8) Steel Forging.
- Fig. 13 Steady Creep Rate of Mod. 9Cr-1Mo(F8) Steel Forging.
- Fig. 14 Relation Between Steady Creep Rate and Time to Rupture of Mod. 9Cr-1Mo(F8) Steel Forging.
- Fig. 15 Time to Tertiary Creep of Mod. 9Cr-1Mo(F8) Steel Forging.
- Fig. 16 Relation Between Time to Tertiary Creep and Time to Rupture of Mod. 9Cr-1Mo (F8) Steel Forging.
- Fig. 17 Creep Rupture Properties of 9Cr-2Mo(H6) Steel Forging.
- Fig. 18 Relation Between Fracture Elongation and Time to Rupture of 9Cr-2Mo(H6) Steel Forging.

- Fig. 19 Relation Between Reduction of Area and Time to Rupture of 9Cr-2Mo(H6) Steel Forging.
- Fig. 20 Steady Creep Rate of 9Cr-2Mo(H6) Steel Forging.
- Fig. 21 Relation Between Steady Creep Rate and Time to Rupture of 9Cr-2Mo(H6) Steel Forging.
- Fig. 22 Time to Tertiary Creep of 9Cr-2Mo(H6) Steel Forging.
- Fig. 23 Relation Between Time to Tertiary Creep and Time to Rupture of 9Cr-2Mo(H6) Steel Forging.
- Fig. 24 Creep Rupture Properties of 9Cr-1Mo-Nb-V(G3) Steel Forging.
- Fig. 25 Relation Between Fracture Elongation and Time to Rupture of 9Cr-1Mo-Nb-V(G3) Steel Forging.
- Fig. 26 Relation Between Reduction of Area and Time to Rupture of 9Cr-1Mo-Nb-V(G3) Steel Forging.
- Fig. 27 Steady Creep Rate of 9Cr-1Mo-Nb-V(G3) Steel Forging.
- Fig. 28 Relation Between Steady Creep Rate and Time to Rupture of 9Cr-1Mo-Nb-V(G3) Steel Forging.
- Fig. 29 Time to Tertiary Creep of 9Cr-1Mo-Nb-V(G3) Steel Forging.
- Fig. 30 Relation Between Time to Tertiary Creep and Time to Rupture of 9Cr-1Mo-Nb-V(G3)Steel Forging.
- Fig. 31 Creep Rupture Properties of Various Sampling Method of 9Cr-Mo Steel Forgings. (Surface, Center, Direction L)
- Fig. 32 Creep Rupture Properties of Various Sampling Method of 9Cr-Mo Steel Forgings. (t/2Thickness, Center, Direction L)
- Fig. 33 Creep Rupture Properties of Various Sampling Method of 9Cr-Mo Steel Forgings. (t/2Thickness, Center, Direction Z)
- Fig. 34 Creep Rupture Properties of Various Sampling Method of 9Cr-Mo Steel Forgings. (t/4Thickness, Center, Direction Z)
- Fig. 35 Comparison of Creep Strength for Various 9Cr-Mo Steels at 500°C.
- Fig. 36 Comparison of Creep Strength for Various 9Cr-Mo Steels at 550°C.

- Fig. 37 Relation Between Fracture Elongation and Time to Rupture of Various Sampling Method of 9Cr-Mo Steel Forgings. (Surface, Center, Direction L)
- Fig. 38 Relation Between Fracture Elongation and Time to Rupture of Various Sampling Method of 9Cr-Mo Steel Forgings. ($t/2$ Thickness, Center, Direction L)
- Fig. 39 Relation Between Fracture Elongation and Time to Rupture of Various Sampling Method of 9Cr-Mo Steel Forgings. ($t/2$ Thickness, Center, Direction Z)
- Fig. 40 Relation Between Fracture Elongation and Time to Rupture of Various Sampling Method of 9Cr-Mo Steel Forgings. ($t/4$ Thickness, Center, Direction L)
- Fig. 41 Relation Between Reduction of Area and Time to Rupture of Various Sampling Method for 9Cr-Mo Steel Forgings. (Surface, Center, Direction L)
- Fig. 42 Relation Between Reduction of Area and Time to Rupture of Various Sampling Method for 9Cr-Mo Steel Forgings. ($t/2$ Thickness, Center, Direction L)
- Fig. 43 Relation Between Reduction of Area and Time to Rupture of Various Sampling Method for 9Cr-Mo Steel Forgings. ($t/2$ Thickness, Center, Direction Z)
- Fig. 44 Relation Between Reduction of Area and Time to Rupture of Various Sampling Method for 9Cr-Mo Steel Forgings. ($t/4$ Thickness, Center, Direction Z)
- Fig. 45 Steady Creep Rate of Various Sampling Method for 9Cr-Mo Steel Forgings. (Surface, Center, Direction L)
- Fig. 46 Steady Creep Rate of Various Sampling Method for 9Cr-Mo Steel Forgings. ($t/2$ Thickness, Center, Direction L)
- Fig. 47 Steady Creep Rate of Various Sampling Method for 9Cr-Mo Steel Forgings. ($t/2$ Thickness, Center, Direction Z)
- Fig. 48 Steady Creep Rate of Various Sampling Method for 9Cr-Mo Steel Forgings. ($t/2$ Thickness, Center, Direction Z)
- Fig. 49 Relation Between Steady Creep Rate and Time to Rupture for Various Sampling Method of 9Cr-Mo Steel Forgings. (Surface, Center, Direction L)
- Fig. 50 Relation Between Steady Creep Rate and Time to Rupture for Various Sampling Method of 9Cr-Mo Steel Forgings. ($t/2$ Thickness, Center, Direction L)
- Fig. 51 Relation Between Steady Creep Rate and Time to Rupture for Various Sampling Method of 9Cr-Mo Steel Forgings. ($t/2$ Thickness, Center, Direction Z)

- Fig. 52 Relation Between Steady Creep Rate and Time to Rupture for Various Sampling Method of 9Cr-Mo Steel Forgings. ($t/4$ Thickness, Center, Direction Z)
- Fig. 53 Time to Tertiary Creep for Various Sampling Method of 9Cr-Mo Steel Forgings. (Surface, Center, Direction L)
- Fig. 54 Time to Tertiary Creep for Various Sampling Method of 9Cr-Mo Steel Forgings. ($t/2$ Thickness, Center, Direction L)
- Fig. 55 Time to Tertiary Creep for Various Sampling Method of 9Cr-Mo Steel Forgings. ($t/2$ Thickness, Center, Direction Z)
- Fig. 56 Time to Tertiary Creep for Various Sampling Method of 9Cr-Mo Steel Forgings. ($t/2$ Thickness, Center, Direction Z)
- Fig. 57 Relation Between Time to Tertiary Creep and Time to Rupture for Various Sampling Method of 9Cr-1Mo Steel Forgings. (Surface, Center, Direction L)
- Fig. 58 Relation Between Time to Tertiary Creep and Time to Rupture for Various Sampling Method of 9Cr-1Mo Steel Forgings. ($t/2$ Thickness, Center, Direction L)
- Fig. 59 Relation Between Time to Tertiary Creep and Time to Rupture for Various Sampling Method of 9Cr-1Mo Steel Forgings. ($t/2$ Thickness, Center, Direction Z)
- Fig. 60 Relation Between Time to Tertiary Creep and Time to Rupture for Various Sampling Method of 9Cr-1Mo Steel Forgings. ($t/4$ Thickness, Center, Direction Z)
- Fig. 61 Comparison of Creep Curve for Various 9Cr-Mo Steel Forgings at same Stress.
- Fig. 62 Comparison of Creep Curve for Various 9Cr-Mo Steel Forgings at Resemblance Rupture time.

List of Tables

- Table. 1 Summary of Manufacturing Specification of Mod. 9Cr-1Mo(F4) Steel Forging.
- Table. 2 Summary of Manufacturing Specification of Mod. 9Cr-1Mo(F8) Steel Forging.
- Table. 3 Summary of Manufacturing Specification of 9Cr-2Mo(H6) Steel Forging.
- Table. 4 Summary of Manufacturing Specification of 9Cr-1Mo-Nb-V(G3) Steel Forging.
- Table. 5 Manufacturing Process of Mod. 9Cr-1Mo(F4) Steel Forging.
- Table. 6 Manufacturing Process of Mod. 9Cr-1Mo(F8) Steel Forging.
- Table. 7 Manufacturing Process of 9Cr-2Mo(H6) Steel Forging.
- Table. 8 Manufacturing Process of 9Cr-1Mo-Nb-V(G3) Steel Forging.
- Table. 9 Chemical Composition of 9Cr-Mo Steel Forgings.
- Table. 10 Mechanical Properties of 9Cr-Mo Steel Forgings.
- Table. 11 Creep Test Results of Mod. 9Cr-1Mo(F4) Steel Forging.
- Table. 12 Creep Test Results of Mod. 9Cr-1Mo(F8) Steel Forging.
- Table. 13 Creep Test Results of 9Cr-2Mo(H6) Steel Forging.
- Table. 14 Creep Test Results of 9Cr-1Mo-Nb-V(G3) Steel Forging.

List of Photographs

- Photo. 1 Appearance of Mod. 9Cr-1Mo(F4)Steel Forging Creep Specimen after Creep Test in air. (Surface-Direction L -Center and Outer at 500°C)
- Photo. 2 Appearance of Mod. 9Cr-1Mo(F4)Steel Forging Creep Specimen after Creep Test in air. (t/4Thickness -Center-Direction L and C at 500, 550°C)
- Photo. 3 Appearance of Mod. 9Cr-1Mo(F4)Steel Forging Creep Specimen after Creep Test in air. (t/4Thickness -Center-Direction Z at 500°C)
- Photo. 4 Appearance of Mod. 9Cr-1Mo(F4)Steel Forging Creep Specimen after Creep Test in air. (t/2Thickness -Center-Direction L and Z at 500, 550°C)
- Photo. 5 Appearance of Mod. 9Cr-1Mo(F4)Steel Forging Creep Specimen after Creep Test in air. (t/2Thickness -Outer-Direction L and Z at 500, 550°C)
- Photo. 6 Appearance of Mod. 9Cr-1Mo(F4)Steel Forging Creep Specimen after Creep Test in air. (3t/4Thickness -Center-Direction C at 500and550°C)
- Photo. 7 Appearance of Mod. 9Cr-1Mo(F8)Steel Forging Creep Specimen after Creep Test in air. (Surface, t/2Thickness-Direction L -Center at500°C)
- Photo. 8 Appearance of Mod. 9Cr-1Mo(F8)Steel Forging Creep Specimen after Creep Test in air. (t/2, t/4Thickness -Center-Direction Z at 500, 550 °C)
- Photo. 9 Appearance of 9Cr-2Mo(H6)Steel Forging Creep Specimen after Creep Test in air. (Surface, t/2Thickness -Center-Direction L at 500, 550°C)
- Photo. 10 Appearance of 9Cr-1Mo(H6)Steel Forging Creep Specimen after Creep Test in air. (t/2, t/4Thickness -Center-Direction Z at 500, 550°C)
- Photo. 11 Appearance of 9Cr-2Mo(H6)Steel Forging Creep Specimen after Creep Test in air. (t/2, 3t/4Thickness -Center-Direction C and Z at 500, 550°C)
- Photo. 12 Appearance of 9Cr-1Mo-Nb-V(G3) Steel Forging Creep Specimen after Creep Test in air. (Surface, t/4Thickness -Center-Direction L and Z at 550°C)
- Photo. 13 Appearance of 9Cr-1Mo-Nb-V(G3)Steel Forging Creep Specimen after Creep Test in air. (t/2Thickness -Center-Direction L and Z at 500, 550°C)
- Photo. 14 Appearance of 9Cr-1Mo-Nb-V(G3) Steel Forging Creep Specimen after Creep Test in air. (3t/4Thickness -Center-Direction C at 500, 550°C)

1. はじめに

高速原型炉「もんじゅ」の建設が平成4年の臨界を目標にして順調に進められており、さらにFBR実用化に向けての研究開発も活発に実施されてきている。

FBR大型炉にとっては機器の信頼性および経済性の向上が重要な課題の一つである。これらの中でも適切な材料の選択は重要なポイントとなる。材料としては炉心材料、ならびに構造材料のいずれも重要な構成材料ではあるが、構造材料の場合は、一定期間に交換することのできる炉心材料と比較し、数十年に及ぶ供用末期までの健全性を確保しなければならない等、より一層の高い信頼性が要求される。構造材料には蒸気発生器材料、配管材料、炉容器材料等がある。特に蒸気発生器用材料は高温高圧蒸気とナトリウムとの熱交換を行う機器であるため、高温強度、耐力力腐食割れ性および耐熱応力性などの優れた材料でなければならない。

これらの動きの中で、従来材（オーステナイト系ステンレス鋼および $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$ 鋼）に代わる材料として、国内外のボイラー等で実績のある高クロムモリブデン鋼について、FBRへの適用評価に関する研究開発が行われてきた。⁽¹⁾⁻⁽²⁾高クロムモリブデン鋼は、オーステナイト系ステンレス鋼と比較すると、使用温度域での高温強度が高く、高温高圧水中での耐力力腐食割れ、物理的性質（低熱膨張率、高熱伝導率）がすぐれていること、また低合金鋼（ $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$ 等）と比較すると、ナトリウム中での耐脱炭性に優れているため、脱炭による強度低下の懸念が少ないことや水蒸気による全面腐食が少ないなど、蒸気発生器用材料として注目を浴びている。高クロムモリブデン鋼を適用することができれば、「もんじゅ」で採用されているような蒸気発生器と熱器とをそれぞれ分離し、 $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$ とSUS321を使い分ける分離型式から一体貫流型の蒸気発生器とすることも可能となり、その結果、機器のコンパクト化が図られ、経済性向上に大きく貢献できる。

これらの内外の情勢を踏まえ、動燃事業団では大型炉を対象にして既にボイラー用として開発されている高クロムモリブデン鋼の高速炉に対する適用性調査が実施された。また、これを受けて構造材料試験計画—カベラ計画—が策定され、この計画に基づき高クロムモリブデン鋼選定試験を実施してきた。⁽⁶⁾⁻⁽⁹⁾

蒸気発生器においては、極厚鍛鋼品が蒸気発生器管—管板に使用される予定である。極厚鍛鋼品は一般的に板材等の薄鋼板と比較した場合、極厚材であるため鍛錬比および熱処理条件等の違いによる材料特性の差異や熱時効による材料特性の変化が懸念される。このため、高クロムモリブデン鋼選定試験の結果⁽⁸⁾⁻⁽⁹⁾を勘案し、極厚鍛鋼品（250～280mm t）について、一

連の基本材料特性（引張特性、クリープ挙動特性、衝撃特性、疲労特性）を把握すると共に、熱時効による特性変化について検討してきた。既報では、引張特性および衝撃特性についてその特性を明らかにした。⁽¹¹⁾ ⁽¹²⁾

本報告では、これらの基本材料特性試験の一環として、クリープ特性を把握するとともに、これに及ぼす試料採取位置等の影響について報告する。

2. 試験方法

2.1 供試材および試験片

本試験に用いた材料は、既に行われた高クロモリブデン鋼選定試験⁽⁸⁾、⁽⁹⁾で選定された。下記の3鋼種4ヒートの高クロムモリブデン鋼鍛鋼品である。

- ① Mod. 9Cr-1Mo鋼（公称呼び名：F 4）
- ② Mod. 9Cr-1Mo鋼（公称呼び名：F 8）
- ③ 9Cr-2Mo鋼（公称呼び名：H 6）
- ④ 9Cr-1Mo-Nb-V鋼（公称呼び名：G 3）

供試材は、いずれも概略寸法1000×1000×250~280mmtの極厚鍛鋼品である。製造仕様をTable. 1~4に、製造フローをTable. 5~8にそれぞれ示す。また、供試材の化学成分および熱処理条件をTable. 9に、ミルシートの機械的特性値をTable. 10に示す。クリープ試験片形状は、平行部直径10mm、標点間距離50mmのつば付き中実丸棒タイプである。Fig. 1に試験片の形状寸法を示す。

2.2 試験片採取要領

試験片の採取に当たっては、鍛鋼品の特性を代表することのできるように考慮した。試験片採取位置はFig. 2に示すように、供試材の主鍛造方向（L）、主鍛造方向と直角方向（C）および厚さ方向（Z）について、それぞれ中心部および外周部について採取した。また、厚肉方向に対しては表面直下、 $t/4$ 、 $t/2$ 、および $3t/4$ 部（ t は厚さ）について試験片を採取し、試験に供した。

2.3 クリープ試験機

大気中クリープ試験機は、荷重容量3トン、レバー比1：10の単式クリープ試験機である。荷重精度は0.5%である。クリープひずみは、試験片のつば部にショルダータイプのアームを取付け、変位計によりこれを連続測定した。

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」に準拠するとともに、「FBR金属材料試験実施要

領書」(13)に従い実施した。変位計により測定された試験片平行部の変位は、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計測記録した。この記録から、クリープひずみの時間変位を示すクリープ曲線を作成し、定常クリープ速度および第3期クリープ開始時間を求めた。

3. 試験結果

3.1 Mod. 9Cr-1Mo鋼 (F 4) のクリープ特性

Mod. 9Cr-1Mo鋼 (F 4) に関するクリープ試験結果をTable. 11に一括して示す。

(1) クリープ破断時間

Fig. 3 に応力と破断時間との関係を示す。同図中の曲線は、材料強度基準暫定値、設計クリープ破断応力強さ $S_R^{(1)}$ を示している。500℃および550℃ともクリープ破断強度は、基準値よりも高い値を示し、基準値を充分満足していた。また、試料採取位置および方向による有意な差異は認められなかった。

(2) クリープ破断延性

Fig. 4 に破断伸びと破断時間との関係を、Fig. 5 に破断絞りと破断時間との関係をそれぞれ示す。破断伸びは、データのばらつきがあるものの、全体的には、1,000時間以降でやや減少する傾向が認められた。また、試験温度および試料採取位置および方向による差異が認められず、約20~30%前後の破断伸びを示した。一方、破断絞りは、500℃よりも550℃の方が若干高い値を示したが、破断時間による依存性が小さく、ほぼ一定していた。破断絞りに対する試料採取位置および方向による明瞭な差異は認められなかった。

(3) 定常クリープ破断速度

Fig. 6 に応力と定常クリープ速度の関係を示す。試料採取位置および方向による比較では、500℃における表面直下外周部のL方向およびt/2肉厚外周部のZ方向の定常クリープ速度は他の試料採取位置および方向のそれらよりも小さくなっている。

定常クリープ速度と破断時間との関係をFig. 7 に示す。図中の直線は、500℃および550℃におけるMod. 9Cr-1Mo鋼のクリープひずみ式策定のベースとなった定常クリープ速度の値を示す。本試験データは、500℃および550℃ともクリープひずみ式⁽¹⁾から得られる定常クリープ速度とほぼ一致していた。また、試料採取位置および方向による定常クリープ速度の差異は認められなかった。

(4) 第3期クリープ開始時間

Fig. 8 に応力と第3期クリープ開始時間との関係を、Fig. 9 に第3期クリープ開始時間と破断時間との関係をそれぞれ示す。500℃では、表面直下部のL方向とt/2肉厚外周部のZ方向の第3期クリープ開始時間が若干長くなっているが、その他は試料採取位置

および方向による差異は認められず、ほぼ同等であった。第3期クリープ開始時間と破断時間との関係で表すと、500℃と550℃の温度による差異は認められず、ほぼ同一の直線でデータを整理することができた。

3.2 Mod. 9Cr-1Mo鋼 (F 8) のクリープ特性

Mod. 9Cr-1Mo鋼 (F 8) に関するクリープ試験結果をTable. 12に一括して示す。

(1) クリープ破断試験

Fig. 10に応力と破断時間との関係を示す。同図中の曲線は、材料強度基準暫定値、設計クリープ破断強さ S_R を示している。本試験データは基準値に近い値を示しているが、500℃、550℃とも基準値を満足していた。500℃における試料採取位置および方向の比較では、表面直下中心部のL方向のクリープ破断強さが他より高く、表面直下t/2肉厚中央部Z方向で破断時間が短くなる傾向を示した。この傾向は、特に高応力側で顕著であった。550℃については試料採取位置および方向の比較を実施していないため明かではない。

(2) クリープ破断延性

Fig. 11に破断伸びと破断時間との関係を、Fig. 12に破断絞りと破断時間との関係をそれぞれ示す。本試験の範囲では、500℃の破断伸びに対する試料採取位置および方向の差異が認められた。すなわち、t/4肉厚中央部のZ方向およびt/2肉厚中央部Z方向の破断伸びが破断時間の増加とともに減少しているのに対し、表面直下中央部およびt/2肉厚中央部のL方向では、破断時間に対してほぼ一定か、あるいは増加する傾向を示した。550℃での試料採取位置および方向の比較はできないが、t/2肉厚のZ方向では、500℃と異なり、破断時間とともに低下する傾向は認められなかった。破断伸びは、500℃および550℃とも全体として18~30%前後の値が得られた。

(3) 定常クリープ速度

Fig. 13に応力と定常クリープ速度との関係を示す。500℃試験では、試料採取位置および方向による定常クリープ速度への影響が認められた。特に高応力側では表面直下外周部およびt/2肉厚L方向の定常クリープ速度は、t/4、t/2肉厚のZ方向のそれらよりも遅い結果となった。

定常クリープ速度と破断時間との関係をFig. 14に示す。図中直線は、Mod. 9Cr-1Mo鋼のクリープひずみ式⁽¹⁰⁾から得られる定常クリープ速度を示す。550℃では、クリープ

ひずみ式で用いられる定常クリープ速度とほぼ同等の傾向を示した。しかし、500℃では、長時間側で定常クリープ速度が遅くなる傾向を示した。

(4) 第3期クリープ開始時間

Fig. 15に応力と第3期クリープ開始時間との関係を示す。第3期クリープ開始時間は試料採取位置および方向によりわずかながら差異が認められ、同一応力下では表面下中央部のL方向の第3期クリープ開始時間は他よりも長時間側となっている。一方、 $t/2$ 肉厚中央部のZ方向は、第3期クリープ開始時間が短時間側となった。

Fig. 16に第3期クリープ開始時間と破断時間との関係を示す。500℃および550℃とも有意な差は無く、同様の傾向を示した。

3.3 9Cr-2Mo鋼 (H 6) のクリープ特性

9Cr-2Mo鋼 (H 6) の関するクリープ試験結果をTable. 13に一括して示す。

(1) クリープ破断時間

Fig. 17に応力と破断時間の関係を示す。同図中の曲線は、材料強度基準暫定値⁽¹⁰⁾、設計クリープ破断応力強さ S_R を示している。本試験データは、基準値と比較し、500℃、550℃とも同等または高応力側でそれを若干下回る結果となった。500℃の試料採取位置の比較では、クリープ破断時間の差異が認められ、 $t/2$ 肉厚中央部のL方向のクリープ設計強さは、他のZ方向よりも高い値を示す傾向が認められた。

(2) クリープ破断延性

Fig. 18に破断伸びと破断時間の関係を、Fig. 19に破断絞りと破断時間の関係をそれぞれ示す。試料採取位置および方向による比較では、500℃の破断伸びは、表面直下中央部および $t/2$ 肉厚中央部のL方向では、破断時間が長くなるにつれて破断伸びが増大する傾向を示した。 $t/4$ 肉厚中央部および $t/2$ 肉厚中央部のZ方向では破断時間による破断伸びへの影響は小さくなっており、前者のL方向とは異なっていた。また、550℃の破断伸びでは、500℃よりも全体的に高い値を示した。破断伸びは、500℃で概ね28~54%の範囲であった。破断絞りは、一部を除いて500℃、550℃とも破断時間が長くなるにつれて若干増加する傾向が認められた。破断絞りと破断時間の関係において試料採取位置および方向による差異は認められなかった。

(3) 定常クリープ速度

Fig. 20に応力と定常クリープ速度との関係を示す。500℃では、試料採取位置および

方向による差異がわずかながら認められ、表面下 $t/2$ 肉厚中央部Z方向の定常クリーブ速度が高応力になるにしたがい大きくなる傾向が認められた。

Fig. 21に定常クリーブ速度と破断時間の関係を示す。図中直線は、参考比較としてMod. 9Cr-1Mo鋼のクリーブひずみ式から得られた値を示す。500℃および550℃の各試験温度では、基準値と比較すると500℃では、破断時間が長時間側で定常クリーブ速度が小さくなる傾向が認められた。550℃では、全体的に定常クリーブ速度が大きくなる傾向を示した。

(4) 第3期クリーブ開始時間

Fig. 22に応力と第3期クリーブ開始時間との関係を示す。第3期クリーブ開始時間は、試料採取位置および方向により差異が認められ、特に高応力側では、表面直下 $t/2$ 肉厚中央部および表面直下中央部のL方向が同一応力下のZ方向と比較し、第3期クリーブ開始時間が長時間側になる傾向を示した。この傾向は、前述のクリーブ破断強さとも対応している。

Fig. 23に破断時間と第3期クリーブ開始時間との関係を示す。550℃の一部を除くと、ほぼ同一直線で表すことができた。

3.4 9Cr-1Mo-Nb-V鋼 (G3) のクリーブ特性

9Cr-1Mo-Nb-V鋼 (G3) に関するクリーブ試験結果を一括してTable. 14に示す。

(1) クリーブ破断時間

Fig. 24に応力と破断時間との関係を示す。同図中の曲線は、材料強度基準暫定値⁽¹⁰⁾の設計クリーブ破断強さ S_R を示している。今回得られた試験値は、500℃および550℃とも S_R 値を上回る結果となった。試料採取方向による比較では、L方向のクリーブ強度がZ方向のそれらよりも全体的に優れていた。

(2) クリーブ破断延性

Fig. 25に破断伸びと破断時間の関係を、Fig. 26に破断絞りと破断時間の関係をそれぞれ示す。500℃では、各試料採取位置の破断伸びは破断時間による依存性が小さくなっているが、550℃では、破断時間が長時間側になるにつれて破断伸びが低下する傾向が認められた。

破断絞りでは、試料採取方向による差異がわずかに認められ、試料採取方向のZ方向がL方向よりも全体的に低くなる傾向が認められた。破断絞りは、約80~90%前後の値

が得られた。

(3) 定常クリープ速度

Fig. 27に応力と定常クリープ速度との関係を示す。500°Cの比較では、試料採取方向による差異が認められ、全体的に試料採取方向のL方向の定常クリープ速度がZ方向に比較して小さくなる傾向を示した。

Fig. 28に定常クリープ速度と破断時間との関係を示す。図中には参考としてMod. 9Cr-1Mo鋼のクリープひずみ式から得られる定常クリープ速度値を比較して示す。実験データは、クリープひずみ式における定常クリープ速度と比較すると比較的良く一致した傾向となった。

(4) 第3期クリープ開始時間

Fig. 29に応力と第3期クリープ開始時間との関係を示す。試料採取位置および方向による比較では、わずかながら差異が認められ、表面直下中心部のL方向が全体と比較して同応力に対して第3期クリープ開始時間が長くなる傾向を示し、t/2肉厚中央部のZ方向では、第3期クリープ開始時間が短時間側になる傾向が認められた。

Fig. 30に第3期クリープ開始時間と破断時間との関係を示す。500°C、550°Cともほぼ同一直線で表わすことができる。

4. 試験結果の検討

4.1 クリープ特性に及ぼす試料採取位置の検討

(1) Mod. 9Cr-1Mo鋼 (F 4)

クリープ特性に及ぼす試料採取位置および方向の比較では、本試験の範囲では特異的な有意な差異は認められなかった。福田ら⁽²²⁾が行った極厚鍛鋼品のクリープ試験についてもこれと同様の報告をしている。クリープ特性に及ぼす試料採取位置および方向の影響は、Mod. 9Cr-1Mo鋼鍛鋼品では小さく、厚さ方向の差異が小さい材料であると考えられる。これは、前報の⁽¹¹⁾引張試験でもこれと符合する結果が得られている。しかしながら、前報の⁽¹²⁾の衝撃試験結果では、Z方向の特性が他と比較して劣る結果となっている。

(2) Mod. 9Cr-1Mo鋼 (F 8)

Mod. 9Cr-1Mo鋼 (F 8) のクリープ特性に及ぼす試料採取位置および方向の比較では、試料採取方向のZ方向がL方向と比較した場合、クリープ破断時間および破断延性に差異が認められている。これは、前報の衝撃試験⁽¹¹⁾および引張試験結果⁽¹²⁾と符合しており、本鋼が試料採取方向によりその特性が異なることを示すものである。また、同一方向の試料採取位置の肉厚方向の違いによりその特性が異なるのは、本材料が極厚鍛鋼品であるために中央部の冷却速度が表面部と比較して遅くなることが考えられ、この冷却速度の差異がクリープ特性に影響しているものと考えられる。

(3) 9Cr-2Mo鋼 (H 6)

9Cr-2Mo鋼 (H 6) のクリープ特性に及ぼす試料採取位置および方向の比較では、試料採取方向のZ方向がL方向と比較して、Mod. 9Cr-1Mo鋼 (F 8) と同様に差異が認められ、Z方向が劣る結果となった。これは、Mod. 9Cr-1Mo鋼 (F 8) と同様に極厚鍛鋼品で特に顕著となる鍛錬の差異が生じクリープ特性に影響を与えているものと考えられる。

(4) 9Cr-1Mo-Nb-V鋼 (G 3)

9Cr-1Mo-Nb-V鋼 (G 3) のクリープ特性に及ぼす試料採取位置および方向の比較では、試料採取方向による差異が認められ、全体としてZ方向の破断時間が短時間となっており、Fig. 29に示す第3期クリープ開始時間にもその傾向がみられた。これは、製造行程における鍛錬比、熱処理条件等が大きく関与しているものと考えられる。松崎ら⁽¹⁹⁾は、

9Cr-1Mo-Nb-V鋼における熱処理がクリープ特性に大きく影響を与えることを指摘しおり、鍛鋼品内部の熱処理等が極厚品であるため十分に処理されなかったことがその一因と考えられる。

4.2 鋼種間のクリープ特性の比較

今回試験を実施した3鋼種4ヒートの高クロムモリブデン鋼について同一試料採取位置および方向における鋼種間比較をFig. 31~62に示す。試料採取位置および方向の比較は、表面直下中央部のL方向、表面下t/2肉厚中央部のL方向、Z方向および表面下t/4肉厚中央部のZ方向について行った。ただし、これらの材料は、それぞれ熱処理条件が異なっている事に留意する必要がある。

(1) クリープ破断時間

Fig. 31~34に同一試料採取位置および方向におけるクリープ破断強度を比較して示す。また、これらの結果をまとめ、500時間と5000時間におけるクリープ破断応力の比較をFig. 35および36に示す。500℃の4材料のクリープ破断強度比較では、L方向およびZ方向ともMod. 9Cr-1Mo鋼 (F 4) とMod. 9Cr-1Mo鋼 (F 8) がほぼ同等のクリープ破断強度を示し、次いで9Cr-1Mo-Nb-V鋼 (G 3)、9Cr-2Mo鋼 (H 6) の順となった。550℃では、Z方向のみのデータではあるがMod. 9Cr-1Mo鋼 (F 8) がクリープ強度がわずかながら低くなる傾向を示した。9Cr-2Mo鋼 (H 6) は、クリープ破断特性および衝撃特性の向上⁽¹⁷⁾の観点からTable. 9に示すようにSi含有を低く抑えているが、本試験では、著しく特性が向上するという事実は認められなかった。このことは、藤田ら⁽¹⁴⁾も同様の結果を報告している。

Fig. 35および36に500℃、550℃での500時間および5000時間のクリープ破断特性をそれぞれ比較して示す。500℃では、Mod. 9Cr-1Mo鋼 (F 4) とMod. 9Cr-1Mo鋼 (F 8) は、ほぼ同等の強度を示し、9Cr-2Mo鋼 (H 6)、9Cr-1Mo-Nb-V鋼 (G 3) よりも優れた結果となった。また、500時間と5000時間を比較すると、9Cr-2Mo鋼 (H 6) が長時間側でクリープ破断特性が他の材料より低下する結果となった。これは、本鋼がMoを多く含有していることで金属間化合物の析出等がその一因と考えられ、朝倉⁽¹⁷⁾もこのことを指摘している。550℃では、Mod. 9Cr-1Mo鋼 (F 8) がMod. 9Cr-1Mo鋼 (F 4) と比較するとクリープ破断強度が低下し、クリープ破断強度に差異が認められた。これは、Mod. 9Cr-1Mo鋼 (F 4) とMod. 9Cr-1Mo鋼 (F 8) の熱処理条件の違いまたは結晶粒径の違い

が考えられる。前報^(1,2)の組織観察では、Mod. 9Cr-1Mo鋼(F 4)とMod. 9Cr-1Mo鋼(F 8)を比較した場合Mod. 9Cr-1Mo鋼(F 4)の結晶粒が微細化されており、これを裏付けている。一方、Fig. 37~38に示すように耐クリーブ破断特性の比較では、Mod. 9Cr-1Mo鋼(F 8)が試験温度上昇にともないその特性が大きく変化していることから熱処理による影響も大きな一因と考えられる。

(2) クリーブ破断延性

Fig. 39~42に破断伸びと破断時間との関係を示す。500℃における9Cr-2Mo鋼(H 6)のクリーブ破断伸びは、試料採取位置および方向によらず全体的に他材料よりも高い値を示した。これは、Fig. 39に示すように550℃でも同様であった。他材料に関しては500℃、550℃ともほぼ同等の値となった。

Fig. 43~46に破断絞りと破断時間との関係を示す。破断絞りに関しても前述の破断伸びと同様な傾向であり、9Cr-2Mo鋼(H 6)のクリーブ破断絞りが全体的に高い値となっている。この結果は、前報^(1,2)の衝撃試験の脆性破面温度が高いことに符合しており、このことから本鋼が比較的延性に富む材料であることが判る。

Mod. 9Cr-1Mo鋼(F 4)とMod. 9Cr-1Mo鋼(F 8)を比較した場合、両者間で破断伸びおよび破断絞りに有為な差異は認められなかった。

(3) 定常クリーブ速度

Fig. 47~50に破断時間と定常クリーブ速度との関係を示す。これらの鋼種間比較では、Mod. 9Cr-1Mo鋼(F 8)が定常クリーブ速度が遅い傾向となり、次いで9Cr-2Mo鋼(H 6)が低い傾向となった。Mod. 9Cr-1Mo鋼(F 4)とMod. 9Cr-1Mo鋼(F 8)を比較すると、鋼種間で差異が認められ、Fig. 49に示すようにMod. 9Cr-1Mo鋼(F 4)では、500℃、550℃とも有為な差異は認められず、Mod. 9Cr-1Mo鋼(F 8)では、定常クリーブ速度が破断時間が長くなるにつれて遅くなる傾向となった。一方、9Cr-2Mo鋼(H 6)の定常クリーブ速度が速くなり、他の3材料と異なる結果となった。これは、9Cr-2Mo鋼(H 6)に多く含まれるMoが金属間化合物(Fe_2Mo)となり析出し、クリーブ特性に影響を与えていることが考えられ、藤田ら⁽²⁰⁾もこれらの挙動を報告している。

(4) 第3期クリーブ開始時間

Fig. 55~58に応力と第3期クリーブ開始時間との関係を示す。500℃での鋼種間比較では、第3期クリーブ開始時間は、Mod. 9Cr-1Mo鋼(F 4)とMod. 9Cr-1Mo鋼(F 8)が比較的差異が少なく、第3期クリーブ開始時間と応力との傾きがなだらかであり次いで

9Cr-1Mo-Nb-V鋼 (G 3)、9Cr-2Mo鋼 (H 6) の順になった。これらのクリープ特性の差異は、前報⁽¹⁾⁽²⁾における引張および衝撃特性の優劣順と符合しており、Mod. 9Cr-1Mo鋼が他の材料と比較して、優れた材料であると考えられ、今後更にデータの拡充を行い詳細解析を実施し、実用化への適用性評価を実施すべきと考えられた。

Fig. 59~62に第3期クリープ開始時間と破断時間との関係を示す。鋼種間比較では、9Cr-2Mo鋼が (H 6) 他の3材料と比較して、第3期クリープ開始時間が遅い傾向を示し、これは、9Cr-2Mo鋼 (H 6) が前述したように破断延性が大きいことと一致する。

(5) クリープ挙動の比較

Fig. 37に各鋼種のクリープ曲線を示す。図は、応力 28kg/mm^2 におけるクリープ挙動を示したもので、同応力の比較では、一般的な挙動であり、特異的な挙動はみられない。Fig. 38には比較的破断時間の類似した各鋼種のクリープ曲線を示した。9Cr-2Mo鋼 (H 6) が定常クリープ速度が速く他の材料と異なったクリープ挙動を示した。このことは、9Cr-2Mo鋼 (H 6) が破断延性が富むことに符合している。

5. ま と め

次期大型炉の蒸気発生器用材料としてその適用が有望視されている高クロムモリブデン鋼 3 種 (Mod. 9Cr-1Mo鋼、9Cr-2Mo鋼および9Cr-1Mo-Nb-V鋼) の極厚鍛鋼品 (250~280mm t) について基本となるクリープ特性を把握すると共に、これに及ぼす試料採取位置および方向の影響および鋼種間の比較を行った。

得られた結果を要約すると以下の通りである。

- (1) Mod. 9Cr-1Mo鋼 (F 4、F 8)のクリープ破断特性を他の 2 材料と比較すると全体的に優れた特性を示した。
- (2) 各鋼種の試料採取位置および方向による比較では、Mod. 9Cr-1Mo鋼 (F 4) が $t/2$ 肉厚中央部の Z 方向が破断時間が大きくなる傾向を示したのに対し、他の 3 材料は、他の試料採取位置とほぼ同様の結果となった。しかし、Mod. 9Cr-1Mo鋼 (F 8)、9Cr-2Mo鋼 (H 6)、9Cr-1Mo-Nb-V鋼 (G 3) は、Mod. 9Cr-1Mo鋼 (F 4) と異なり表面直下中央部 L 方向が破断時間が大きい傾向となり、 $t/2$ 肉厚中央部の Z 方向が逆に破断時間が短時間側になる傾向を示した。これは、熱処理による効果が極厚品である為、その効果が内部まで施されなかったものと考えられる。
- (3) クリープ破断伸びおよび絞りは、9Cr-2Mo鋼 (H 6)が他の 3 材料と比較して大きい値となり、その傾向は、試料採取位置および方向による差異は認められず同様の傾向となった。

高クロムモリブデン鋼の研究開発はボイラ管あるいはタービンロータ材等の耐熱材料として、また、その優れた特性から種々の適用に対する開発研究が実施されている中で、今後 FBR に適用するに当たっては、十分な R & D の裏付けによる健全性が確保されていなければならない。本試験の範囲では、全体として Mod. 9Cr-1Mo鋼 (F 4) が今回試験を実施した中で全体として優れた特性を有していることが確認され、実機への適用が有望視される。

終わりに、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鈴木高一氏、小林裕勝氏、並びに矢口勝己氏の協力を得た。

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」：三菱重工技法 Vol.22 No.3 (1985)
- (3) G.Gunz, F.Pellicani, J.Houis, and B.Duquaire, "Int.Conf.Ferritic Steels For Fast Reactor Steam Generater." (1978) Vol.1977 No.1 P164-170
- (4) V.K.Sikka, 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」：住友金属技法 (1988) Vol.40 No.4 p443-452
- (6) 「FBR大型炉用構造材料試験計画-CAPER A計画-」動燃技法、No.50 (1984)
- (7) 「構造材料試験の現状と今後の計画-カペラ計画Step I-」(昭和60年~62年)試験計画(除中性子照射効果) PNC SN9080 86-003
- (8) 丸山、伊藤、青木ら「高クロモリブデン鋼のナトリウム中材料試験」(II) PNC SN9410 89-133 (1989)
- (9) 伊藤、和田、加藤、青木ら「高クロモリブデン鋼のナトリウム中材料試験(I)」 : PNC SN9410 87-184 (1989)
- (10) 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)
- (11) 青木、加藤、吉田ら「高クロモリブデン鋼基本材料特性試験」(I) PNC SN9410 90-122 (1990)
- (12) 青木、加藤、吉田ら「高クロモリブデン鋼基本材料特性試験」(II) PNC SN9410 90-142 (1990)
- (13) 「FBR金属材料試験実施要領書」(改訂版) PNC N241 79-32 (1979)
- (14) 藤田ら、「超々臨海圧プラント用高Crフェライト鋼の開発」鉄と鋼 第76年 (1990) 第7号
- (15) 細井ら、「9Cr-2Mo耐熱鋼の長時間による脆化機構に関する考察」鉄と鋼 第76年 (1990) 第7号

- (16) 土井ら、「改良9Cr-1Moの機械的性質に及ぼすS iの影響」CAMP-ISIJ Vol. 3 (1990)-835
- (17) 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)
- (18) B. J. CANE and R. S. FIDLER "The Effect of Microstructure and Grain Size of the Creep and rupture properties of 2-Cr Mo and 9Cr Mo steels. "BNES, London, 293-299 (1978)
- (19) 松崎ら、「9Cr-1Mo-Nb-V鋼の機械的性質に及ぼす加工熱処理の影響」鉄と鋼 第76年 (1990) 第7号
- (20) 朝倉ら、「高クロムフェライト系耐熱鋼の高温強度と脆化因子」耐熱金属材料123委員会報告 Vol. 26 No. 3 第2分科会
- (21) 行俊ら、「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 (1979) 第7号
- (22) 福田ら、「Mod. 9Cr-1Mo鍛鋼品の高温強度特性試験 (II) および改良316鋼溶接部の高温強度試験 (I)」PNC SJ9124 89-004 (1989)

Table. 1 Summary of manufacturing specification of Mod.9Cr-1Mo steel forging(F4).

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. J I S G 3213-1977「高温圧力容器部品用合金鋼鍛鋼品」(準拠)																																																																				
製 造	1. 溶製：電気炉で溶解後、エレクトロスラグ再溶解(E S R)等の精錬 2. 鍛造：鋼魂は、有害なパイプおよび偏析を除去する。(鍛錬比は3以上) 3. 熱処理：焼き入れ 1040°C x 6 h r W. Q 焼き戻し 760°C x 6 h r A. C																																																																				
購入仕様	1. 化学分析 (ppm) <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th>成 分</th> <th>C</th> <th>S i</th> <th>M n</th> <th>P</th> <th>S</th> <th>N i</th> <th>C r</th> <th>M o</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td colspan="3">×100</td> <td colspan="2">×1000</td> <td colspan="3">×100</td> </tr> <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> <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th>成 分</th> <th>V</th> <th>N b</th> <th>A l</th> <th>N</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>×1000</td> <td>×100</td> <td colspan="2">×1000</td> </tr> <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> 2. 機械的性質 <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <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</td> <td>≥60</td> <td>≥15</td> <td>≥40</td> </tr> </tbody> </table>	成 分	C	S i	M n	P	S	N i	C r	M o		×100			×1000		×100			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	V	N b	A l	N		×1000	×100	×1000		レードル	18/25	6/10	≤40	30/70	チェック	18/25	6/10	≤40	30/70	引 張 試 験				0.2%耐力 kg/mm ²	引張強さ kg/mm ²	伸 び %	絞 り %	≥42	≥60	≥15	≥40
成 分	C	S i	M n	P	S	N i	C r	M o																																																													
	×100			×1000		×100																																																															
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	V	N b	A l	N																																																																	
	×1000	×100	×1000																																																																		
レードル	18/25	6/10	≤40	30/70																																																																	
チェック	18/25	6/10	≤40	30/70																																																																	
引 張 試 験																																																																					
0.2%耐力 kg/mm ²	引張強さ kg/mm ²	伸 び %	絞 り %																																																																		
≥42	≥60	≥15	≥40																																																																		
試験及び 検査方法	1. とりべ分析：J I S G 0321 2. 製品分析：J I S G 0321 3. 引張試験：J I S Z 2241 4. 衝撃試験：J I S Z 2242 5. 硬さ試験：J I S Z 2244 6. 超音波探傷試験：通産省告示第501号2章第6条 垂直法 7. 非金属介在物：J I S G 0555 8. 結晶粒度：J I S 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：J I S B 0405																																																																				

Table. 2 Summary of manufacturing specification of Mod.9Cr-1Mo steel forging(F8).

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. J I S G 3213-1977「高温圧力容器部品用合金鋼鍛鋼品」(準拠)																																																																				
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. 鍛造：鋼魂は、有害なパイプおよび偏析を除去する。（鍛錬比は3以上） 3. 熱処理：焼き入れ 1040℃x10hr O.Q 焼き戻し 775℃x8hr A.C																																																																				
購入仕様	1. 化学分析 (ppm) <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th>成 分</th> <th>C</th> <th>S i</th> <th>M n</th> <th>P</th> <th>S</th> <th>N i</th> <th>C r</th> <th>M o</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td colspan="3">×100</td> <td colspan="2">×1000</td> <td colspan="3">×100</td> </tr> <tr> <td>リードル</td> <td>8/12</td> <td>20/50</td> <td>30/50</td> <td>≤20</td> <td>≤10</td> <td>≤40</td> <td>800/900</td> <td>85/105</td> </tr> <tr> <td>チェック</td> <td>8/12</td> <td>20/50</td> <td>30/50</td> <td>≤20</td> <td>≤10</td> <td>≤40</td> <td>800/900</td> <td>85/105</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th>成 分</th> <th>V</th> <th>N b</th> <th>A l</th> <th>N</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td colspan="2">×100</td> <td colspan="2">×1000</td> </tr> <tr> <td>リードル</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> 2. 機械的性質 <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <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</td> <td>≥60</td> <td>≥15</td> <td>≥40</td> </tr> </tbody> </table>	成 分	C	S i	M n	P	S	N i	C r	M o		×100			×1000		×100			リードル	8/12	20/50	30/50	≤20	≤10	≤40	800/900	85/105	チェック	8/12	20/50	30/50	≤20	≤10	≤40	800/900	85/105	成 分	V	N b	A l	N		×100		×1000		リードル	18/25	6/10	≤40	30/70	チェック	18/25	6/10	≤40	30/70	引 張 試 験				0.2%耐力 kg/mm ²	引張強さ kg/mm ²	伸 び %	絞 り %	≥42	≥60	≥15	≥40
成 分	C	S i	M n	P	S	N i	C r	M o																																																													
	×100			×1000		×100																																																															
リードル	8/12	20/50	30/50	≤20	≤10	≤40	800/900	85/105																																																													
チェック	8/12	20/50	30/50	≤20	≤10	≤40	800/900	85/105																																																													
成 分	V	N b	A l	N																																																																	
	×100		×1000																																																																		
リードル	18/25	6/10	≤40	30/70																																																																	
チェック	18/25	6/10	≤40	30/70																																																																	
引 張 試 験																																																																					
0.2%耐力 kg/mm ²	引張強さ kg/mm ²	伸 び %	絞 り %																																																																		
≥42	≥60	≥15	≥40																																																																		
試験及び 検査方法	1. とりべ分析：J I S G 0321 2. 製品分析：J I S G 0321 3. 引張試験：J I S Z 2241 4. 衝撃試験：J I S Z 2242 5. 硬さ試験：J I S Z 2244 6. 超音波探傷試験：通産省告示第501号2章第6条 垂直法 7. 非金属介在物：J I S G 0555 8. 結晶粒度：J I S 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：J I S B 0405																																																																				

Table. 3 Summary of manufacturing specification of 9Cr-2Mo steel forging(H6).

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. J I S G 3213-1977「高温圧力容器部品用合金鋼鍛鋼品」(準拠)																																																																				
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. 鍛造：鋼塊は、有害なパイプおよび偏析を除去する。(鍛錬比は3以上) 3. 熱処理：焼き入れ 950℃x12hr A.C 焼き戻し 750℃x12hr A.C																																																																				
購入仕様	1. 化学分析 (ppm) <table border="1" data-bbox="384 891 1230 1070"> <thead> <tr> <th>成 分</th> <th>C</th> <th>S i</th> <th>M n</th> <th>P</th> <th>S</th> <th>N i</th> <th>C r</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td colspan="3">×100</td> <td colspan="2">×1000</td> <td colspan="2">×10</td> </tr> <tr> <td>レードル</td> <td>≤8</td> <td>≤50</td> <td>30/70</td> <td>≤30</td> <td>≤30</td> <td>—</td> <td>80/100</td> </tr> <tr> <td>チェック</td> <td>≤8</td> <td>≤50</td> <td>30/70</td> <td>≤30</td> <td>≤30</td> <td>—</td> <td>80/100</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" data-bbox="384 1093 1062 1272"> <thead> <tr> <th>成 分</th> <th>M o</th> <th>V</th> <th>N b</th> <th>A l</th> <th>N</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>×10</td> <td>×1000</td> <td>×100</td> <td colspan="2">×1000</td> </tr> <tr> <td>レードル</td> <td>18/22</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>チェック</td> <td>18/22</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> </tbody> </table> 2. 機械的性質 <table border="1" data-bbox="384 1339 922 1496"> <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>≥18</td> <td>≥40</td> </tr> </tbody> </table>	成 分	C	S i	M n	P	S	N i	C r		×100			×1000		×10		レードル	≤8	≤50	30/70	≤30	≤30	—	80/100	チェック	≤8	≤50	30/70	≤30	≤30	—	80/100	成 分	M o	V	N b	A l	N		×10	×1000	×100	×1000		レードル	18/22	—	—	—	—	チェック	18/22	—	—	—	—	引 張 試 験				0.2%耐力 kg/mm ²	引張強さ kg/mm ²	伸 び %	絞 り %	≥30	≥52	≥18	≥40
成 分	C	S i	M n	P	S	N i	C r																																																														
	×100			×1000		×10																																																															
レードル	≤8	≤50	30/70	≤30	≤30	—	80/100																																																														
チェック	≤8	≤50	30/70	≤30	≤30	—	80/100																																																														
成 分	M o	V	N b	A l	N																																																																
	×10	×1000	×100	×1000																																																																	
レードル	18/22	—	—	—	—																																																																
チェック	18/22	—	—	—	—																																																																
引 張 試 験																																																																					
0.2%耐力 kg/mm ²	引張強さ kg/mm ²	伸 び %	絞 り %																																																																		
≥30	≥52	≥18	≥40																																																																		
試験及び 検査方法	1. とりべ分析：J I S G 0321 2. 製品分析：J I S G 0321 3. 引張試験：J I S Z 2241 4. 衝撃試験：J I S Z 2242 5. 硬さ試験：J I S Z 2244 6. 超音波探傷試験：通産省告示第501号2章第6条 垂直法 7. 非金属介在物：J I S G 0555 8. 結晶粒度：J I S 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：J I S B 0405																																																																				

Table. 4 Summary of manufacturing specification of 9Cr-1Mo-Nb-V steel forging(G3).

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. J I S G 3213-1977「高温圧力容器部品用合金鋼鍛鋼品」(準拠)																																																																				
製 造	1. 溶製：電気炉で溶解後、造塊する。(一方向凝固法) 2. 鍛造：鋼塊は、有害なパイプおよび偏析を除去する。(鍛錬比は3以上) 3. 熱処理：焼き入れ 1060°C x 4 h r W. Q 焼き戻し 730°C x 5 h r A. C																																																																				
購入仕様	1. 化学分析 (ppm) <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th>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> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td colspan="3">×100</td> <td colspan="2">×1000</td> <td colspan="3">×100</td> </tr> <tr> <td>レードル</td> <td>6/8</td> <td>2/10</td> <td>60/80</td> <td>≤10</td> <td>≤2</td> <td>-</td> <td>805/825</td> <td>90/100</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> <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th>成 分</th> <th>V</th> <th>Nb</th> <th>Al</th> <th>N</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td colspan="2">×100</td> <td colspan="2">×10₀0</td> </tr> <tr> <td>レードル</td> <td>15/20</td> <td>4/5</td> <td>5/25</td> <td>≤15</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> 2. 機械的性質 <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <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</td> <td>≥60</td> <td>≥20</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>	成 分	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo		×100			×1000		×100			レードル	6/8	2/10	60/80	≤10	≤2	-	805/825	90/100	チェック	8/12	20/50	30/60	≤20	≤10	≤40	800/950	85/105	成 分	V	Nb	Al	N		×100		×10 ₀ 0		レードル	15/20	4/5	5/25	≤15	チェック	18/25	6/10	≤40	30/70	引 張 試 験				0.2%耐力 kg/mm ²	引張強さ kg/mm ²	伸 び %	絞 り %	≥42	≥60	≥20	-
成 分	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo																																																													
	×100			×1000		×100																																																															
レードル	6/8	2/10	60/80	≤10	≤2	-	805/825	90/100																																																													
チェック	8/12	20/50	30/60	≤20	≤10	≤40	800/950	85/105																																																													
成 分	V	Nb	Al	N																																																																	
	×100		×10 ₀ 0																																																																		
レードル	15/20	4/5	5/25	≤15																																																																	
チェック	18/25	6/10	≤40	30/70																																																																	
引 張 試 験																																																																					
0.2%耐力 kg/mm ²	引張強さ kg/mm ²	伸 び %	絞 り %																																																																		
≥42	≥60	≥20	-																																																																		
試験及び 検査方法	1. とりべ分析：J I S G 0321 2. 製品分析：J I S G 0321 3. 引張試験：J I S Z 2241 4. 衝撃試験：J I S Z 2242 5. 硬さ試験：J I S Z 2244 6. 超音波探傷試験：通産省告示第501号2章第6条 垂直法 7. 非金属介在物：J I S G 0555 8. 結晶粒度：J I S 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：J I S B 0405																																																																				

Table. 5 Manufacturing Process of Mod9Cr-1Mo(F4)Steel Forging.

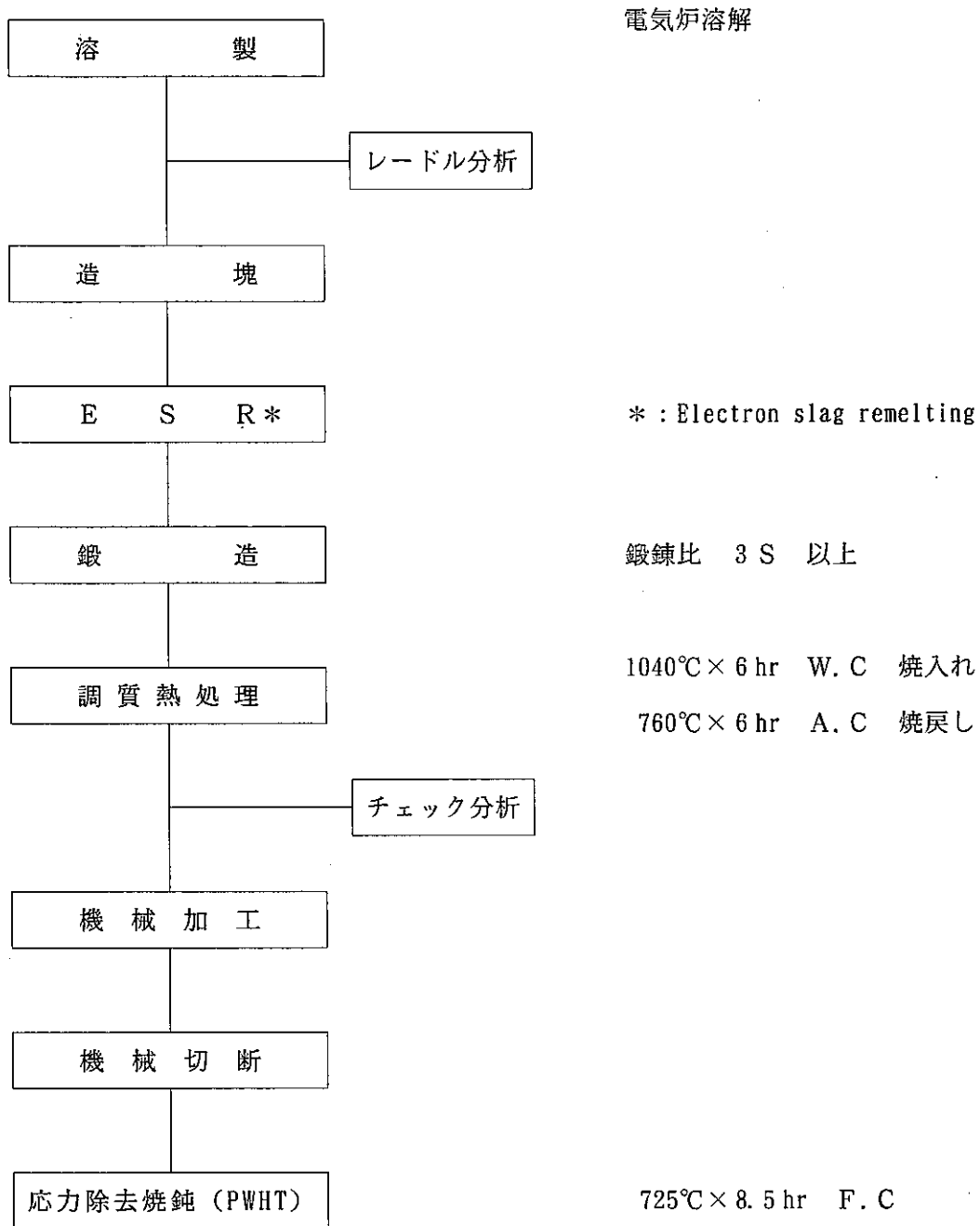


Table. 6 Manufacturing Process of Mod9Cr-1Mo(F8)Steel Forging.

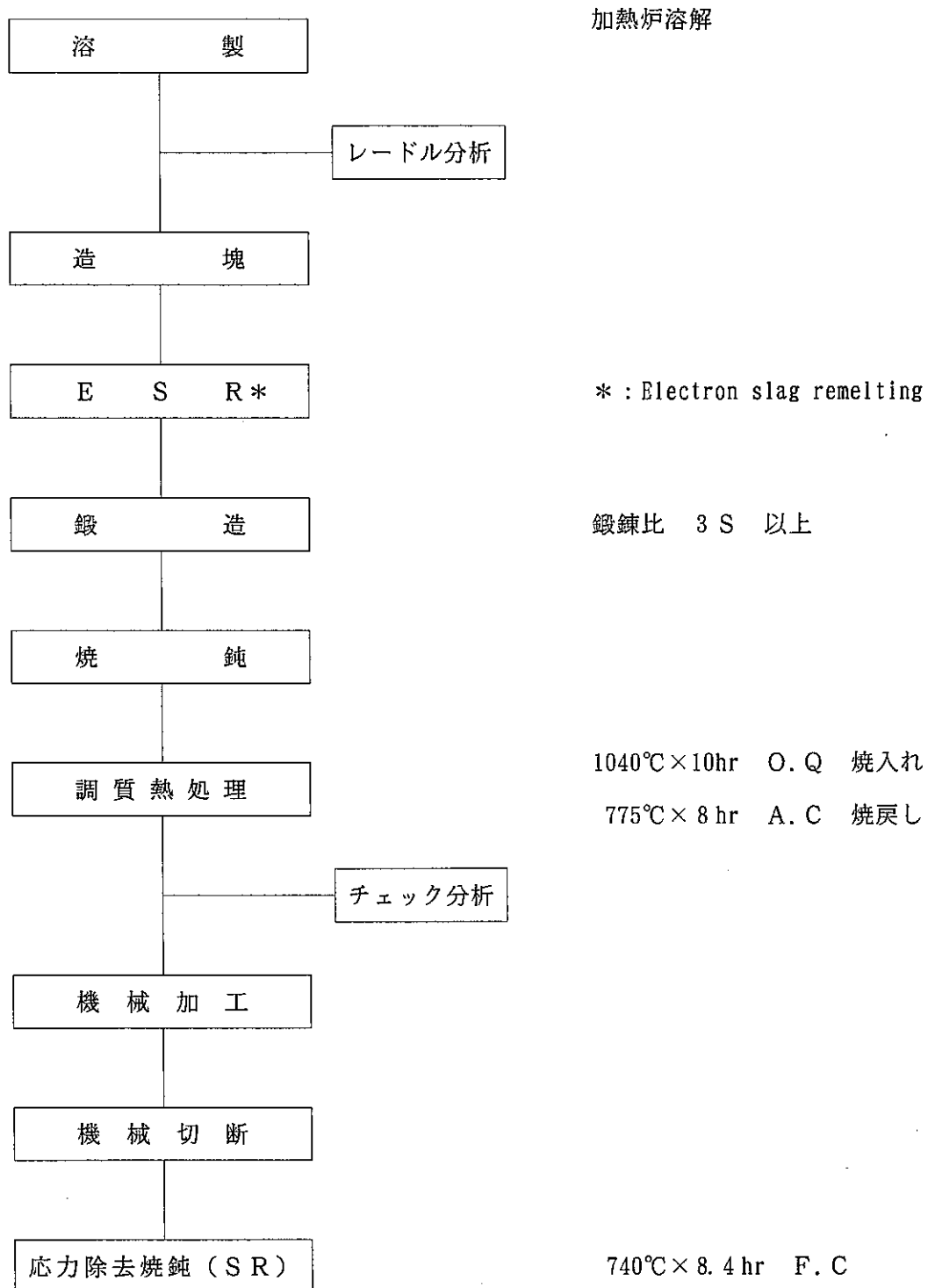


Table. 7 Manufacturing Process of 9Cr-2Mo(H6)Steel Forging.

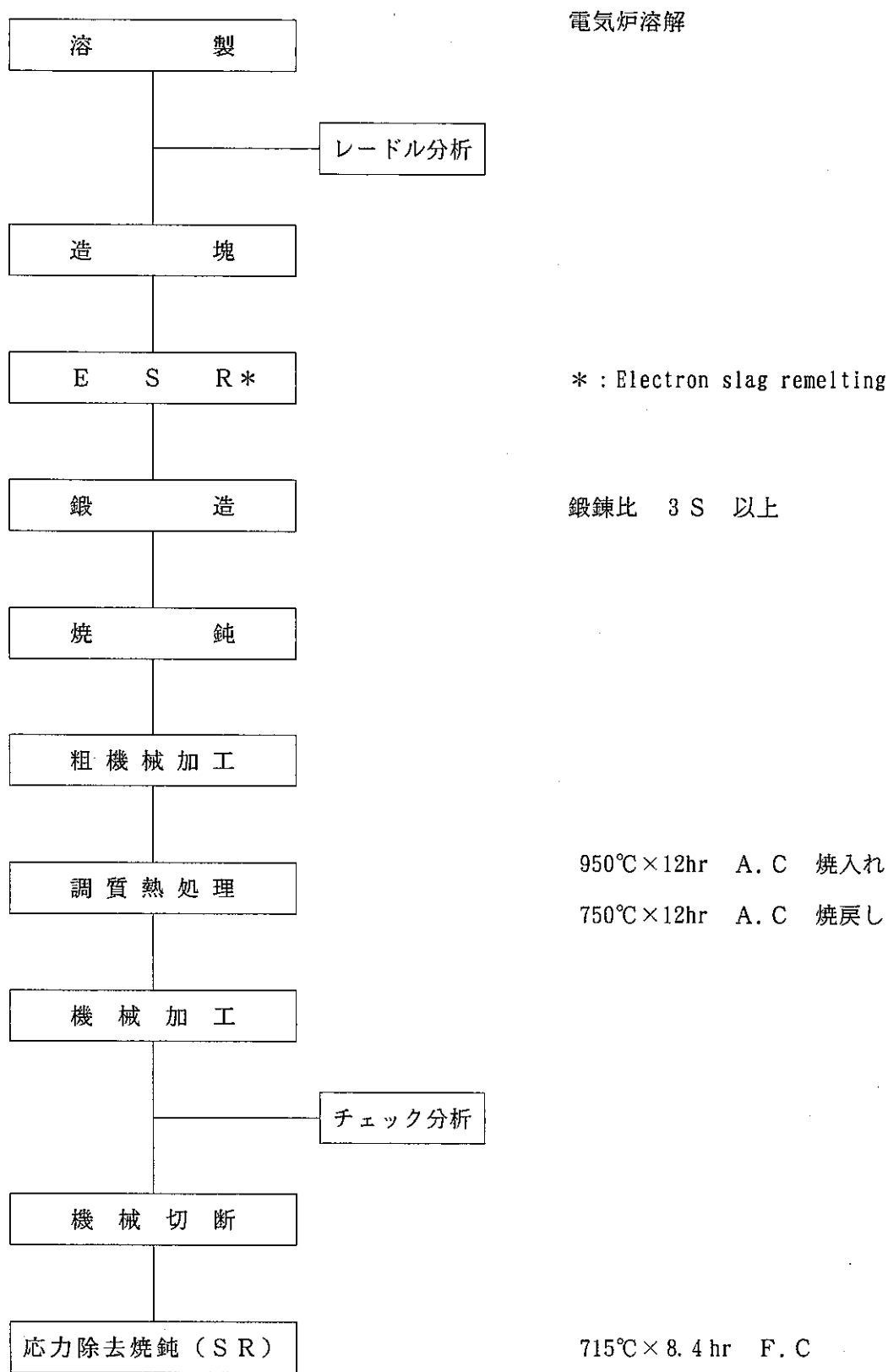


Table. 8 Manufacturing Process of 9Cr-1Mo-Nb-V(G3)Steel Forging.

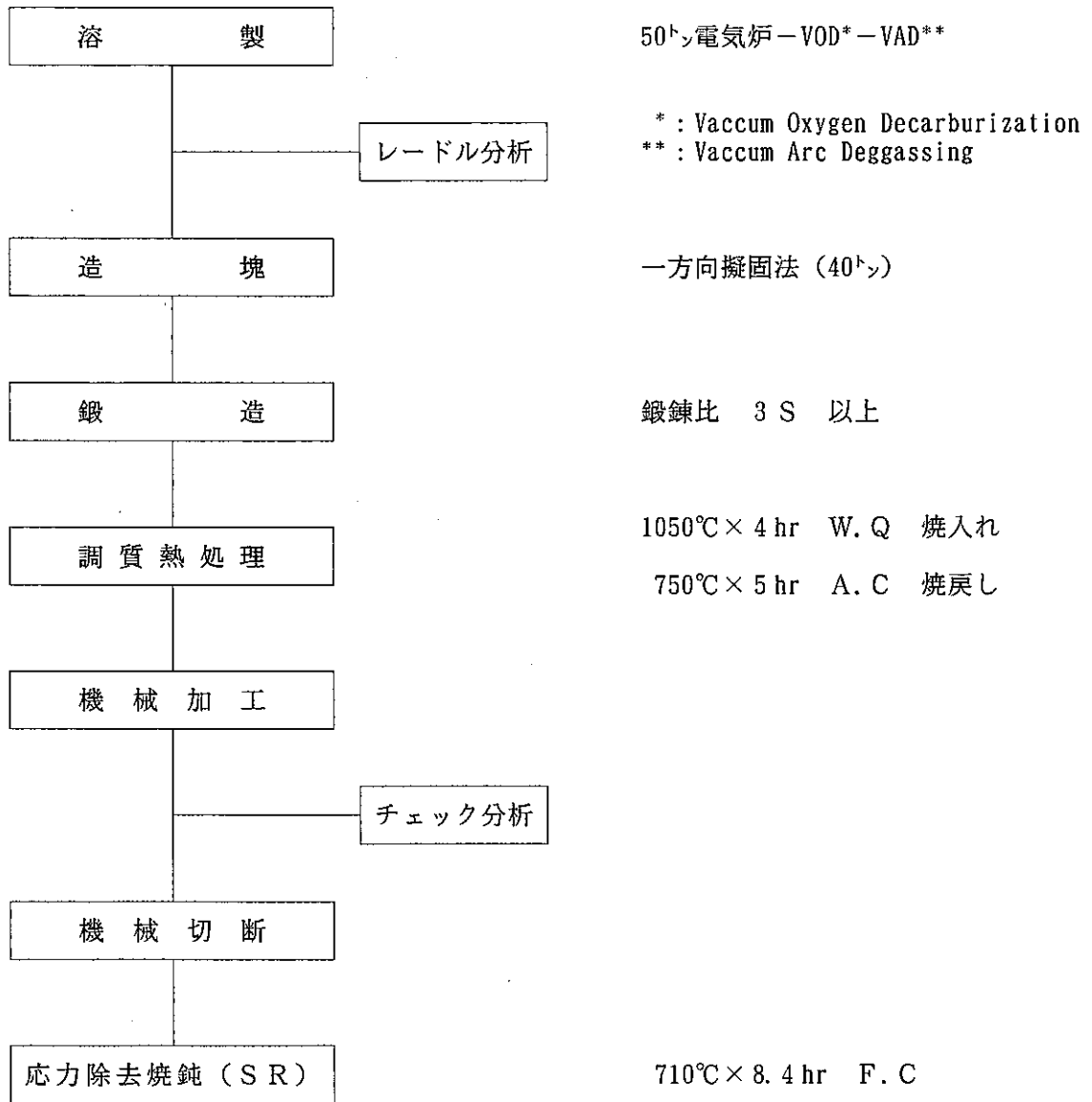


Table 1-9 Chemical Composition of 9Cr-Mo Steel Forgings.

Materials	Heat No.	Thick-ness (mm)	Stress Relief Treatment	Chemical Composition (Product Analysis wt%)												
				C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Nb	V	Al	N
Mod. 9Cr-1Mo	F4	250	725°C×8.4hr F.C	0.10	0.25	0.37	0.008	0.003	—	0.08	9.10	0.93	0.09	0.22	0.002	0.043
Mod. 9Cr-1Mo	F8	280	740°C×8.4hr F.C	0.094	0.23	0.37	0.015	0.001	—	0.18	8.82	0.97	0.066	0.20	0.004	0.048
9Cr-2Mo	H6	250	715°C×8.4hr F.C	0.06	0.03	0.55	0.012	0.002	—	0.36	8.47	1.97	0.016	0.01	<0.001	0.039
9Cr-1Mo-Nb-V	G3	250	710°C×8.4hr F.C	0.09	0.11	0.68	0.009	0.002	0.03	0.18	8.19	0.91	0.048	0.18	0.012	0.010

Table 1-10 Mechanical Properties of 9Cr-Mo Steel Forgings.

Materials	Heat No.	Position	Tensile Test								Impact		
			A : With Out SR				B : With Out SR				A	B	
			Y.S	T.S	E.L	R.A	Y.S	T.S	E.L	R.A	vE 0°C		
Mod. 9Cr-1Mo	F4	L	0/4	50.0	67.0	25.0	74.0	51.0	69.0	23.0	74.0	23.2	21.2
			1/4	49.0	66.0	24.0	75.0	51.0	68.0	24.0	74.0		
			1/2	49.0	66.0	24.0	74.0	50.0	68.0	24.0	74.0		
		Z	1/4	48.0	66.0	25.0	74.0	50.0	68.0	25.0	73.0	21.4	17.2
			1/2	49.0	67.0	25.0	72.0	50.0	68.0	24.0	71.0		
			3/4	49.0	66.0	24.0	73.0	49.0	68.0	25.0	72.0		
Mod. 9Cr-1Mo	F8	L	0/4	44.0	63.5	32.0	74.0	43.5	63.0	34.0	74.0	18.5	19.7
			1/4	45.9	64.5	32.0	74.0	44.4	64.2	30.0	74.0		
			1/2	45.1	65.0	32.0	71.0	44.6	63.9	32.0	72.0		
		Z	1/4	45.9	64.2	30.0	69.0	43.8	63.9	30.0	72.0	14.6	16.2
			1/2	45.2	64.5	30.0	66.0	42.9	63.3	32.0	72.0		
			3/4	45.0	63.7	32.0	67.0	43.4	63.5	32.0	74.0		
9Cr-2Mo	H6	L	0/4	40.0	58.6	29.7	76.4	39.3	58.1	31.4	75.0	15.6	16.8
			1/4	39.9	58.8	31.1	76.4	39.5	58.2	30.7	75.7		
			1/2	39.8	58.6	29.9	76.4	39.2	57.9	30.3	77.1		
		Z	1/4	39.2	58.0	28.3	75.0	39.1	57.5	28.6	73.5	4.7	4.5
			1/2	39.4	58.3	29.1	74.2	39.1	57.6	28.1	73.5		
			3/4	39.8	58.0	29.3	75.0	39.0	57.2	31.7	73.5		
9Cr-1Mo-Nb-V	G3	L	0/4	57.1	67.8	24.5	70.0	56.1	67.2	24.4	72.0	8.6	15.1
			1/4	57.4	68.0	23.3	64.0	56.2	67.1	25.8	69.0		
			1/2	55.7	66.1	23.0	60.7	54.4	65.1	25.0	64.0		
		Z	1/4	56.8	66.3	21.0	61.5	54.7	65.3	24.3	64.0	4.3	4.1
			1/2	55.3	65.2	21.5	59.0	53.8	64.5	26.5	71.0		
			3/4	55.7	65.8	21.1	61.0	54.2	64.9	24.7	71.0		

Symbol {

- Y.S : 0.2% Proof Stress (kg/mm²)
- T.S : Tensile Strength(kg/mm²)
- E.L : Elongation (%)
- R.A : Reduction of Area (%)
- vE0°C: Average of Absorbed Energy at 0°C (kg · m)

Table.11 Creep Test Results of Mod.9Cr-1Mo (F4) Steel Forging.

試験片採取位置			試験片 記号	試験温度 (°C)	応力 (kg/mm ²)	破断時間 (hr)	破断伸び (%)	破断絞り (%)	破断位置	瞬 び 間 み (%)	定常クリープ速度 (%/hr)	第3期クリープ 開始時間 (hr)	
採取部位	採取位置	採取方向											
表面直下	中心部	L	FMF6F1	500	32.0	201.3	24.2	82.7	B	0.292	0.201×10^{-1}	124.2	
			FMF6F2		30.0	1280.9	34.1	85.0	A	0.234	0.291×10^{-2}	727.0	
			FMF6F3		28.0	4020.2	28.1	85.5	B	0.169	0.828×10^{-3}	2280.0	
	外周部	L	FMF6A4	500	32.0	272.7	28.8	83.9	A	0.291	0.167×10^{-1}	152.7	
			FMF6A5		30.0	1157.0	30.7	84.7	A	0.221	0.321×10^{-2}	705.0	
			FMF6A6		28.0	4288.8	23.6	87.4	B	0.199	0.564×10^{-3}	3240.0	
表面下 t/4	中心部	L	FMF6E5	500	30.0	1160.8	25.3	83.7	A	0.209	0.280×10^{-2}	652.0	
			FMF6E0	550	24.0	222.4	33.4	87.3	A	0.183	0.203×10^{-1}	121.0	
			FMF6E6		22.0	721.6	26.1	88.6	B	0.172	0.592×10^{-2}	454.0	
		Z	C	FMF6F7	500	30.0	871.2	29.5	84.3	A	0.261	0.453×10^{-2}	490.0
				FMF6F8	550	22.0	720.1	31.0	87.8	A	0.191	0.666×10^{-2}	422.5
				FMF6C5	500	34.0	59.1	25.9	81.6	B	0.305	0.820×10^{-1}	32.0
	FMF6C6	30.0	1010.8	26.8		83.4	B	0.240	0.355×10^{-2}	586.0			
	FMF6C7	28.0	4068.6	25.7		83.3	B	0.177	0.756×10^{-3}	2215.0			
	表面下 t/2	中心部	L	FMF6G0	500	30.0	1047.7	25.3	86.3	A	0.215	0.319×10^{-2}	610.0
FMF6G1				550	22.0	835.4	30.9	88.6	A	0.171	0.541×10^{-2}	520.0	
Z			C	FMF6D4	500	32.0	226.8	30.9	82.8	A	0.352	0.220×10^{-1}	135.0
				FMF6D6		30.0	860.7	26.8	82.6	A	0.222	0.409×10^{-2}	486.0
				FMF6D8		28.0	3803.4	26.6	85.2	B	0.182	0.772×10^{-3}	2146.0
				FMF6D7	550	22.0	907.2	31.4	87.6	A	0.167	0.470×10^{-2}	530.0
		FMF6D9		20.5		2649.9	28.4	87.3	B	0.115	0.155×10^{-2}	1726.0	
表面下 t/2	外周部	L	FMF6B0	500	30.0	906.7	29.3	85.0	A	0.234	0.417×10^{-2}	505.0	
			FMF6B1	550	22.0	839.7	35.8	88.7	A	0.158	0.562×10^{-2}	467.0	
		Z	C	FMF6B6	500	32.0	223.7	23.5	82.5	A	0.276	0.164×10^{-1}	122.0
				FMF6B7		30.0	1129.2	28.2	84.2	A	0.220	0.277×10^{-2}	480.0
				FMF6B8		28.0	7156.8	23.4	83.4	A	0.205	0.483×10^{-3}	5450.0
表面下 3t/4	中心部	C	FMF6G6	500	32.0	298.5	39.0	83.6	A	0.345	0.158×10^{-1}	163.5	
			FMF6G7	550	24.0	228.1	28.7	86.4	B	0.197	0.230×10^{-1}	111.0	

Table.12 Creep Test Results of Mod.9Cr-1Mo (F8) Steel Forging.

試験片採取位置			試験片 記号	試験温度 (°C)	応力 (kg/mm ²)	破断時間 (hr)	破断伸び (%)	破断絞り (%)	破断位置	瞬 間 ず み (%)	定常クリープ速度 (%/hr)	第3期クリープ 開始時間 (hr)
採取部位	採取位置	採取方向										
表面直下	中心部	L	FYF6F2	500	32.0	841.1	26.8	82.6	A	0.370	0.239×10^{-2}	501.7
			FYF6F1		30.0	2705.8	28.3	84.1	A	0.288	0.584×10^{-3}	1397.8
			FYF6F3		28.0	6322.6	26.4	84.8	A	0.217	0.170×10^{-3}	3320.4
表面下 t/4	中心部	Z	FYF6C6	500	32.0	376.9	28.1	79.3	A	0.513	0.983×10^{-2}	201.9
			FYF6C5		30.0	2011.7	24.6	81.4	A	0.357	0.720×10^{-3}	1130.8
			FYF6C7		28.0	5340.0	18.8	83.4	A	0.183	0.122×10^{-3}	2692.7
表面下 t/2	中心部	L	FYF6G1	500	32.0	449.8	25.2	82.9	A	0.448	0.642×10^{-2}	265.3
			FYF6G0		30.0	2300.6	23.7	83.8	A	0.326	0.586×10^{-3}	1148.1
			FYF6G2		28.0	5609.9	30.0	84.9	A	0.210	0.224×10^{-3}	2822.8
表面下 t/2	中心部	Z	FYF6D5	500	32.0	289.3	32.4	80.4	A	0.667	0.168×10^{-1}	164.7
			FYF6D4		30.0	1790.5	22.4	80.6	A	0.377	0.714×10^{-3}	986.9
			FYF6D6		28.0	5243.0	21.7	82.1	A	0.223	0.193×10^{-3}	2899.4
		Z	FYF6D7	550	22.0	262.9	28.9	86.1	B	0.123	0.160×10^{-1}	122.3
			FYF6D8		20.0	1059.2	25.4	87.3	B	0.118	0.315×10^{-2}	573.9
			FYF6D9		18.0	4567.3	29.8	88.1	A	0.106	0.769×10^{-3}	2501.7

Table.13 Creep Test Results of 9Cr-2Mo (H6) Steel Forging.

試験片採取位置			試験片 記号	試験温度 (°C)	応力 (kg/mm ²)	破断時間 (hr)	破断伸び (%)	破断絞り (%)	破断位置	瞬 間 ず み (%)	定常クリープ速度 (%/hr)	第3期列-7 開始時間 (hr)
採取部位	採取位置	採取方向										
表面直下	中心部	L	FPP6F1	500	28.0	330.8	33.5	82.5	A	0.320	0.140×10^{-1}	150.0
			FPP6F3		26.0	1074.4	32.4	86.5	B	0.378	0.240×10^{-2}	472.0
			FPP6F2		24.0	2163.1	43.0	86.6	A	0.137	0.107×10^{-2}	825.0
			FPP6F4		22.0	5250.5	55.6	88.2	A	0.163	0.414×10^{-3}	1450.0
表面下 t/4	中心部	Z	FPP6C5	500	37.0	0.4	28.0	77.5	B	5.358	—	—
			FPP6C7		26.0	968.4	35.8	84.2	A	0.218	0.306×10^{-2}	420.0
			FPP6C6		24.0	2119.3	44.6	86.9	A	0.263	0.101×10^{-2}	790.0
			FPP6C8		22.0	4813.3	36.3	86.5	B	0.198	0.385×10^{-3}	1360.0
表面下 t/2	中心部	L	FPP6G0	500	28.0	409.4	36.8	82.8	A	0.308	0.112×10^{-1}	172.0
			FPP6G2		26.0	1041.2	33.0	74.8	B	0.124	0.253×10^{-2}	429.0
			FPP6G1		24.0	2851.9	38.3	86.3	B	0.187	0.889×10^{-3}	853.0
			FPP6G3		22.0	6790.1	46.9	86.7	A	0.136	0.362×10^{-3}	1575.0
表面下 t/2	中心部	Z	FPP6D4	500	28.0	207.3	31.0	87.2	B	0.437	0.240×10^{-1}	86.5
			FPP6D8		26.0	901.8	33.1	95.1	A	0.284	0.315×10^{-2}	355.0
			FPP6D6		24.0	1706.2	28.3	86.2	B	0.168	0.118×10^{-2}	700.0
			FPP6E0		22.0	5205.1	32.1	86.9	A	0.131	0.365×10^{-3}	1384.0
		550	FPP6D5	19.0	195.8	41.6	89.5	B	0.136	0.403×10^{-1}	100.0	
			FPP6D9	16.0	1292.9	64.5	90.5	A	0.160	0.667×10^{-2}	595.0	
			FPP6D7	13.0	8911.5	49.8	91.3	A	0.110	0.841×10^{-3}	4590.0	
表面下3t/4	中心部	C	FPP6G6	500	34.0	23.9	37.3	81.4	A	1.688	—	—
			FPP6G7		30.0	125.7	45.4	84.2	A	0.560	0.625×10^{-1}	53.0

Table.14 Creep Test Results of 9Cr-1Mo-Nb-V (G3) Steel Forging.

試験片採取位置			試験片 記号	試験温度 (°C)	応力 (kg/mm ²)	破断時間 (hr)	破断伸び (%)	破断絞り (%)	破断位置	瞬ひずみ (%)	定常クリープ速度 (%/hr)	第3期クリープ 開始時間 (hr)
採取部位	採取位置	採取方向										
表面直下	中心部	L	FNF6F1	500	30.0	218.6	22.3	82.4	A	0.203	0.161×10^{-1}	148.5
			FNF6F2		28.0	697.4	23.2	85.5	A	0.167	0.585×10^{-2}	484.0
			FNF6F3		26.0	2555.1	27.5	86.2	A	0.153	0.146×10^{-2}	1482.0
表面下 t/4	中心部	Z	FNF6C5	500	30.0	178.0	25.7	80.8	B	0.210	0.187×10^{-1}	97.5
			FNF6C6		28.0	422.9	25.6	79.1	A	0.176	0.959×10^{-2}	256.0
			FNF6C7		25.5	1570.5	25.4	82.1	A	0.162	0.234×10^{-2}	900.0
表面下 t/2	中心部	L	FNF6G0	500	30.0	185.9	26.6	83.8	A	0.227	0.206×10^{-1}	101.0
			FNF6G1		28.0	624.2	31.7	85.8	A	0.065	0.715×10^{-2}	422.0
			FNF6G2		26.0	1644.3	21.0	87.1	B	0.167	0.232×10^{-2}	1170.0
表面下 t/2	中心部	Z	FNF6D4	500	30.0	128.4	25.5	82.1	A	0.201	0.292×10^{-1}	71.5
			FNF6D6		28.0	303.8	29.3	84.3	A	0.190	0.150×10^{-1}	192.0
			FNF6D8		26.0	1188.4	25.5	82.1	A	0.230	0.292×10^{-2}	627.0
		L	FNF6D5	550	22.0	103.8	34.4	89.5	A	0.227	0.549×10^{-1}	58.0
			FNF6D7		18.0	2199.8	29.6	85.3	A	0.072	0.227×10^{-2}	1446.0
			FNF6D9		16.0	10998.5	22.6	87.3	B	0.125	0.306×10^{-3}	8030.0
表面下 3t/4	中心部	C	FNF6G6	500	26.0	2438.4	24.0	95.0	B	0.163	0.186×10^{-2}	1520.0
			FNF6G7	550	21.0	489.4	31.7	90.5	B	0.120	0.127×10^{-1}	278.5

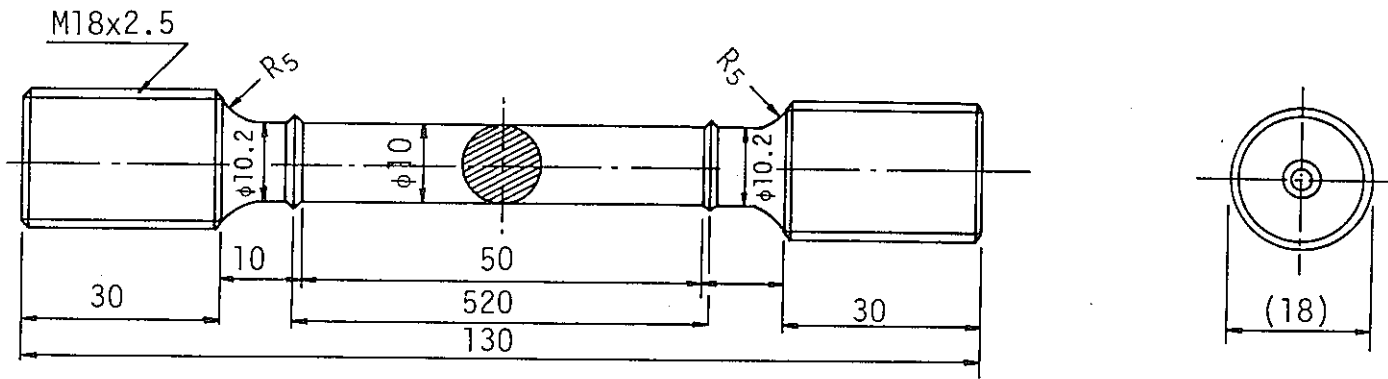


Fig. 1 Creep Rupture Test Specimen for 9Cr-Mo Steel Forgings

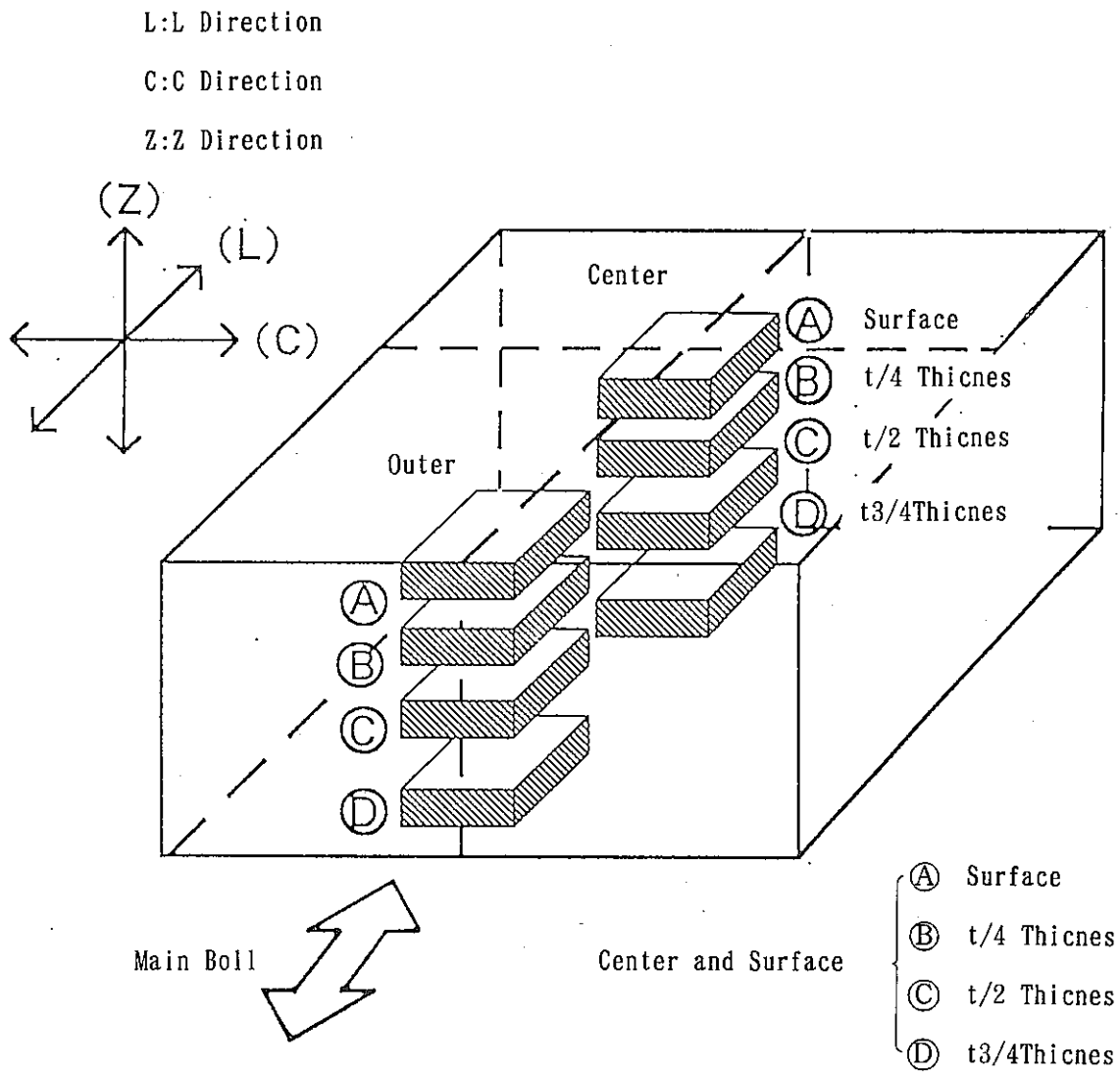


Fig. 2 Sampling Method of Creep test Specimens of 9Cr-Mo Steel forgings

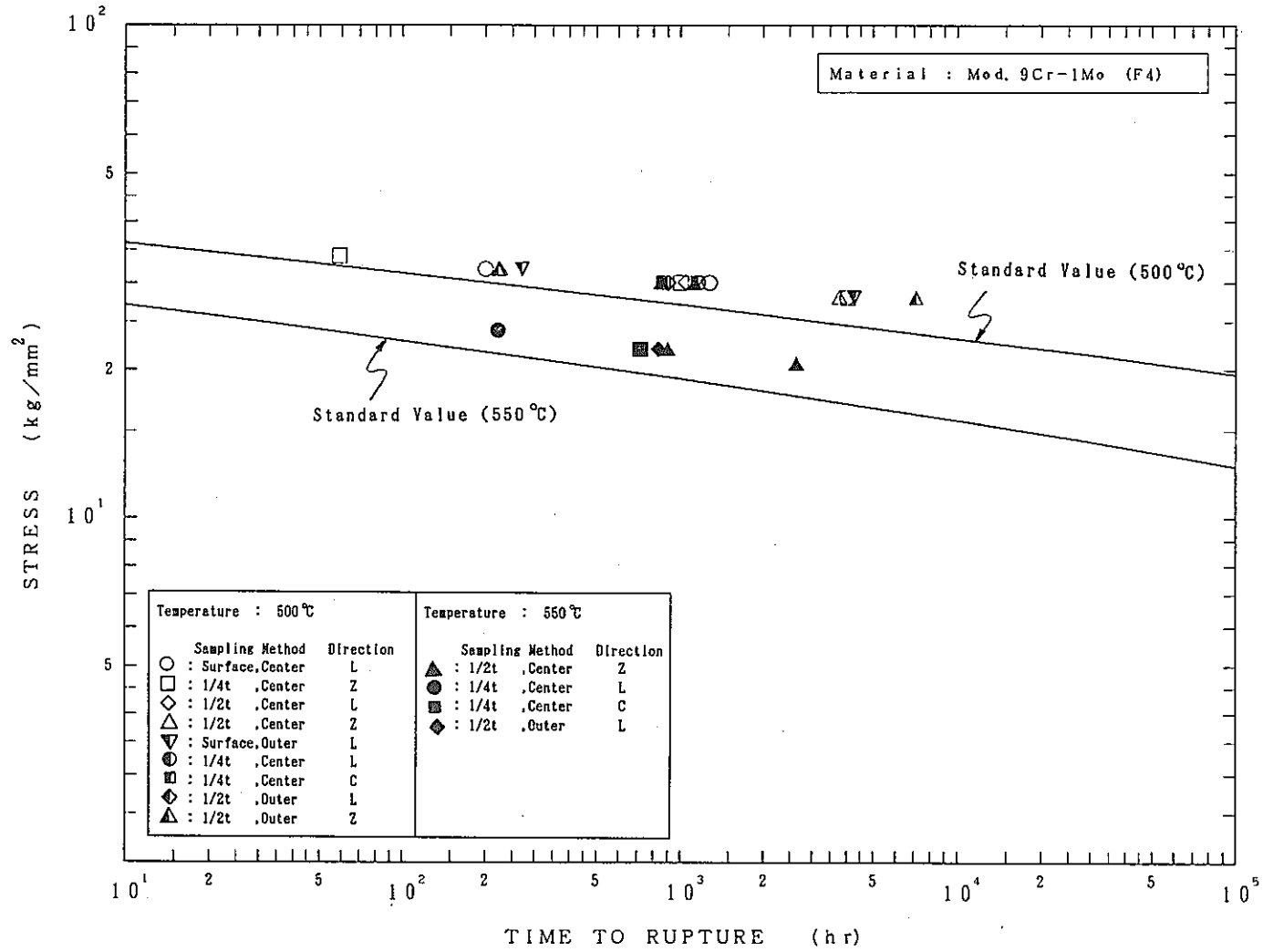


Fig. 3 Creep Rupture Properties of Mod.9Cr-1Mo(F4) Steel Forging.

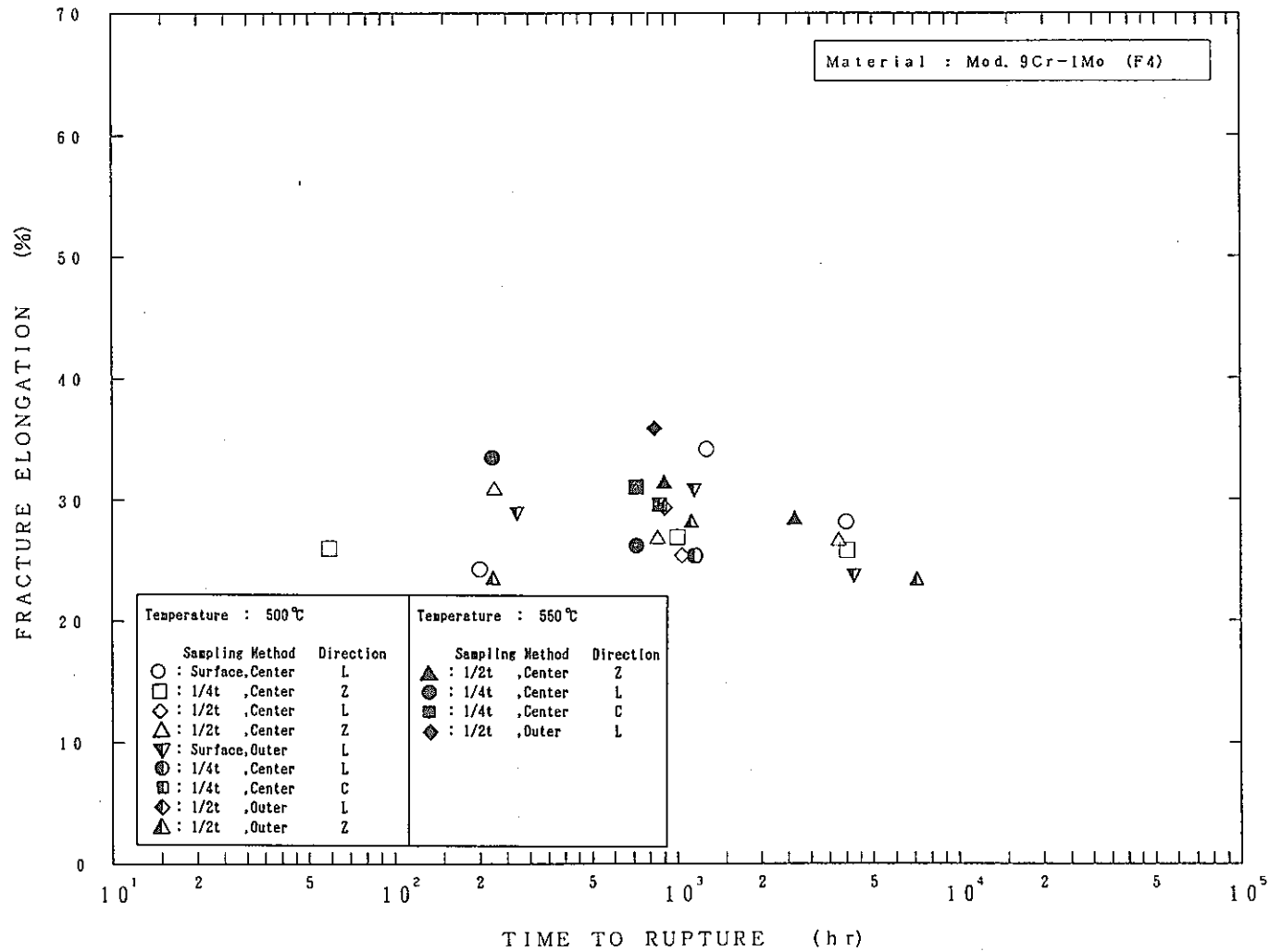


Fig. 4 Relation Between Fracture Elongation and Time to Rupture of Mod.9Cr-1Mo(F4) Steel Forging.

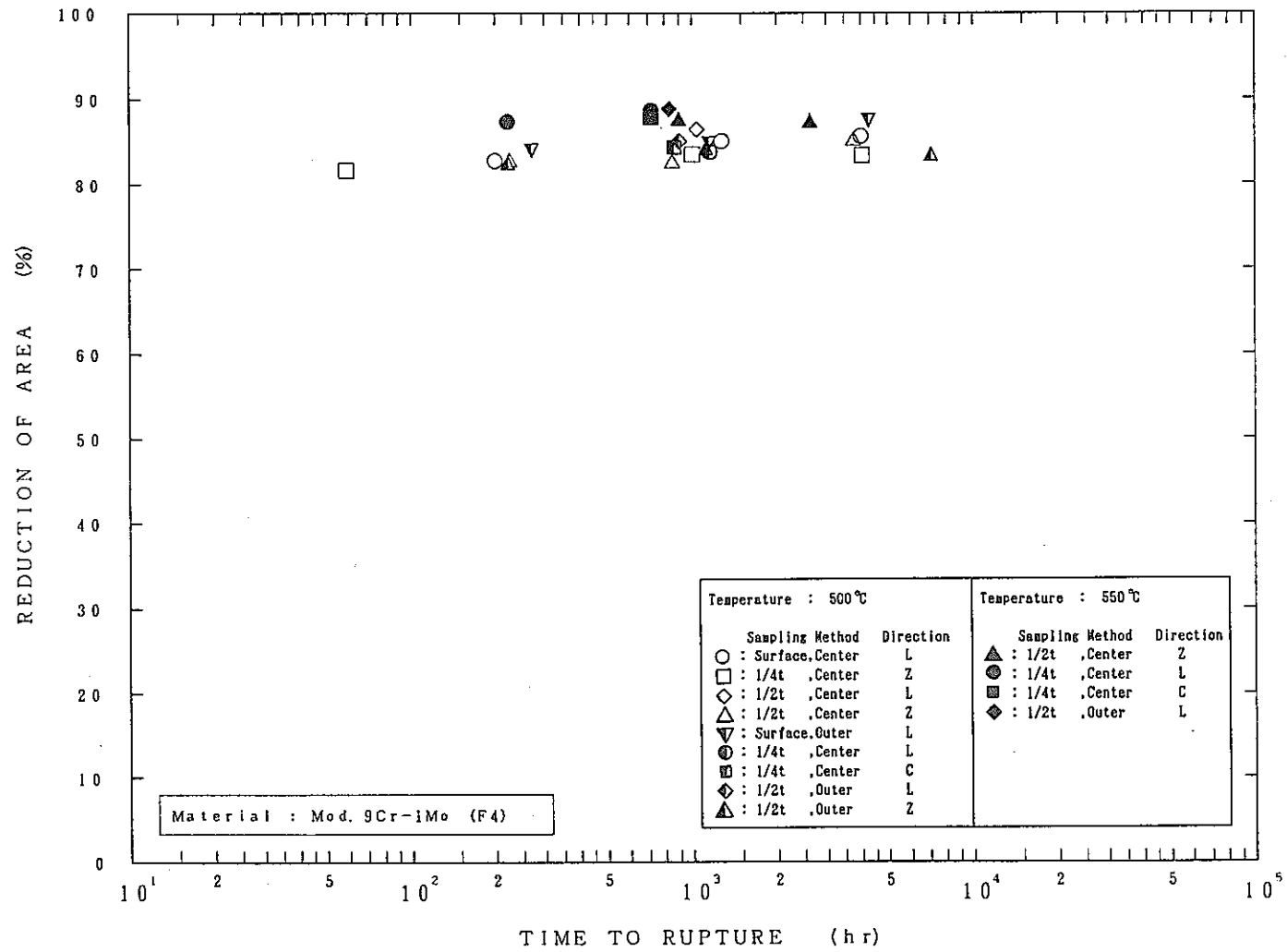


Fig. 5 Relation Between Reduction of Area and Time to Rupture of Mod. 9Cr-1Mo(F4) Steel Forging.

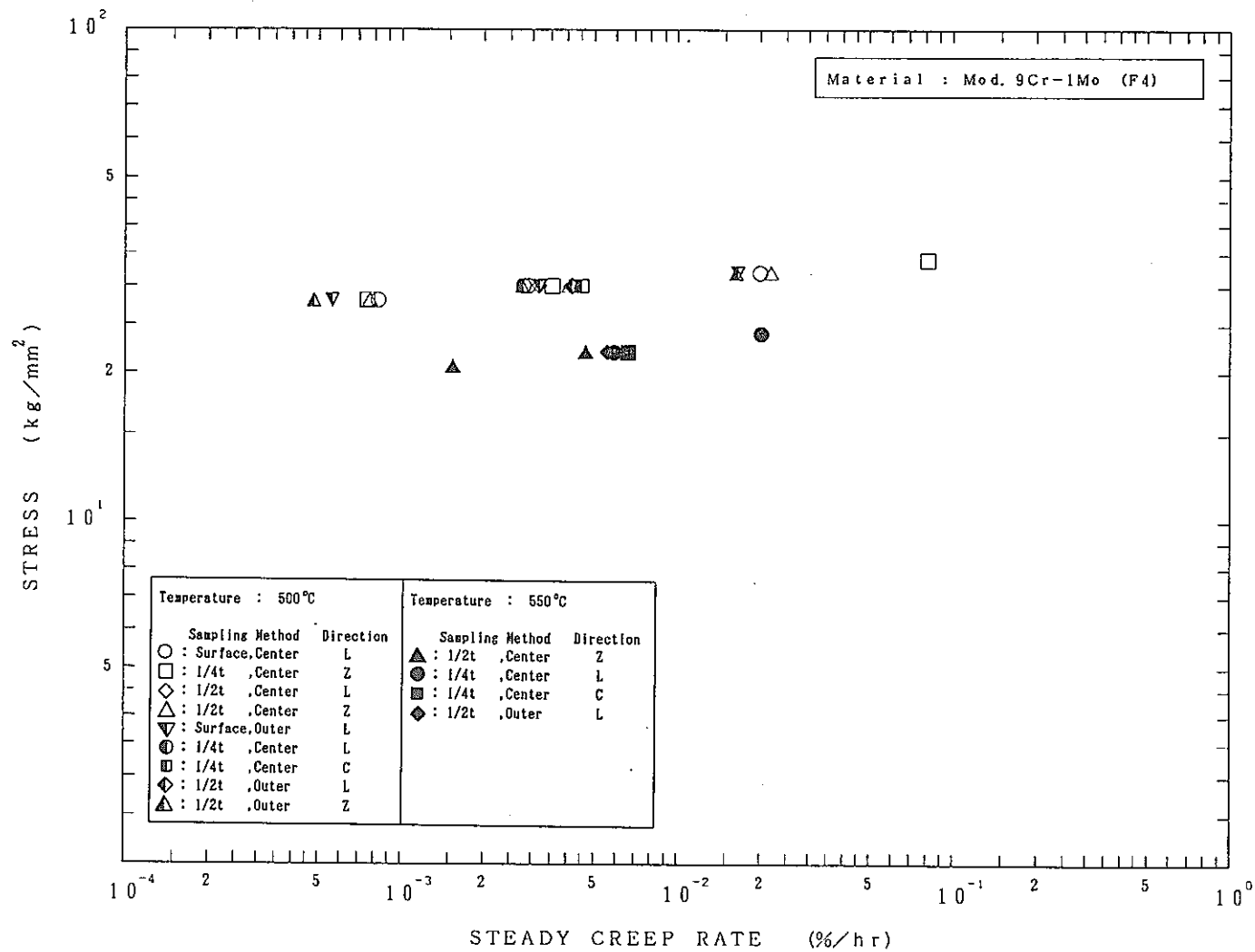


Fig. 6 Steady Creep Rate of Mod.9Cr-1Mo(F4) Steel Forging.

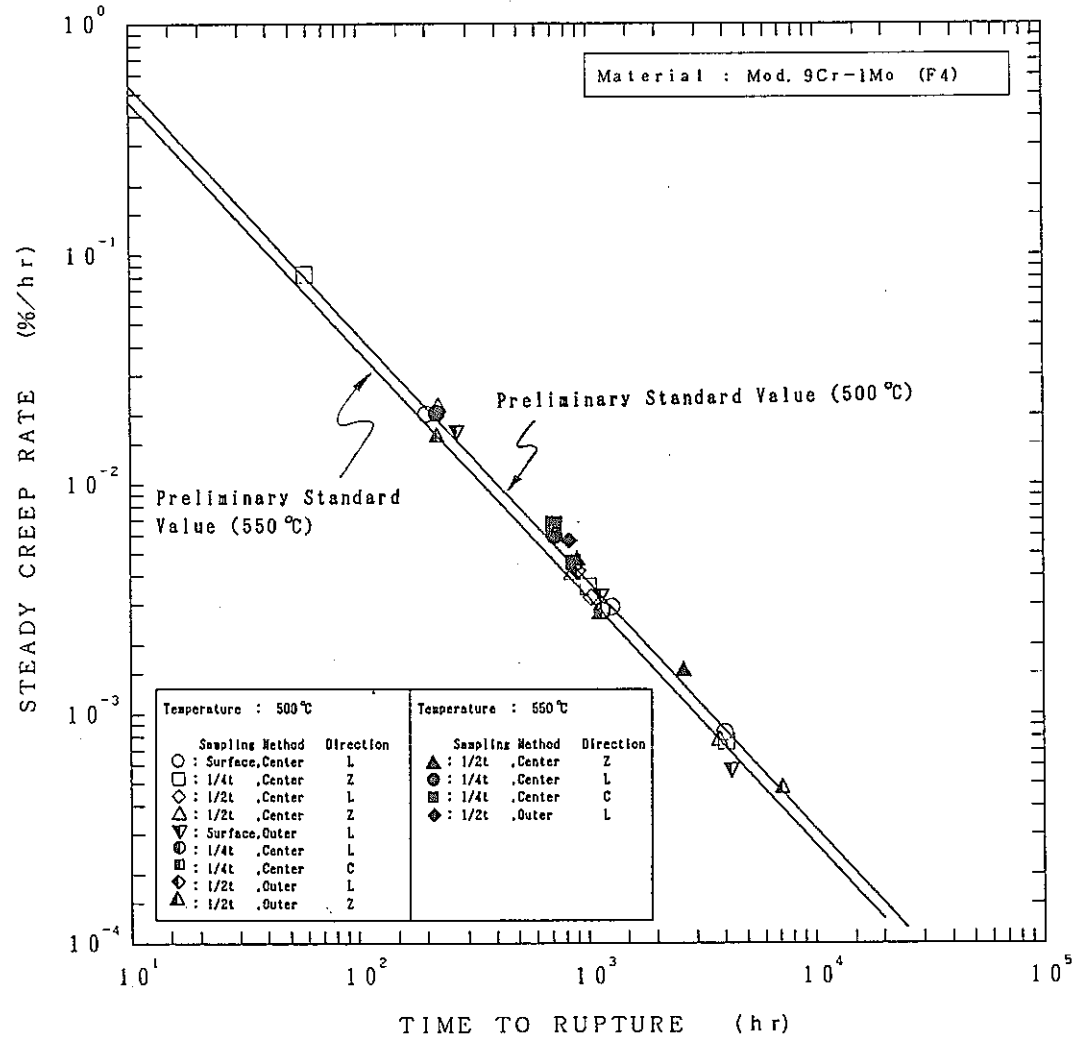


Fig. 7 Relation Between Steady Creep Rate and Time to Rupture of Mod. 9Cr-1Mo(F4) Steel Forging.

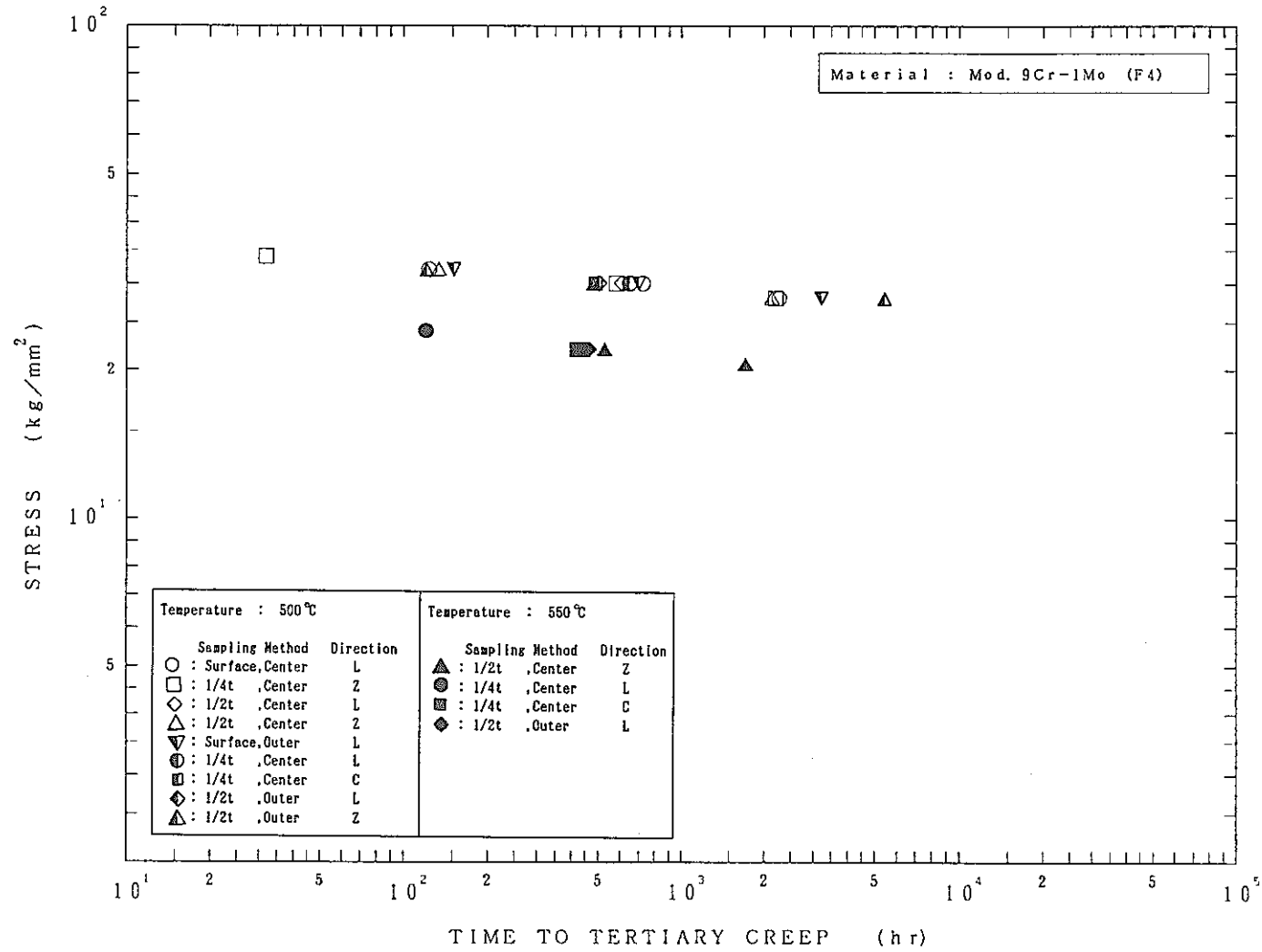


Fig. 8 Time to Tertiary Creep of Mod.9Cr-1Mo(F4) Steel Forging.

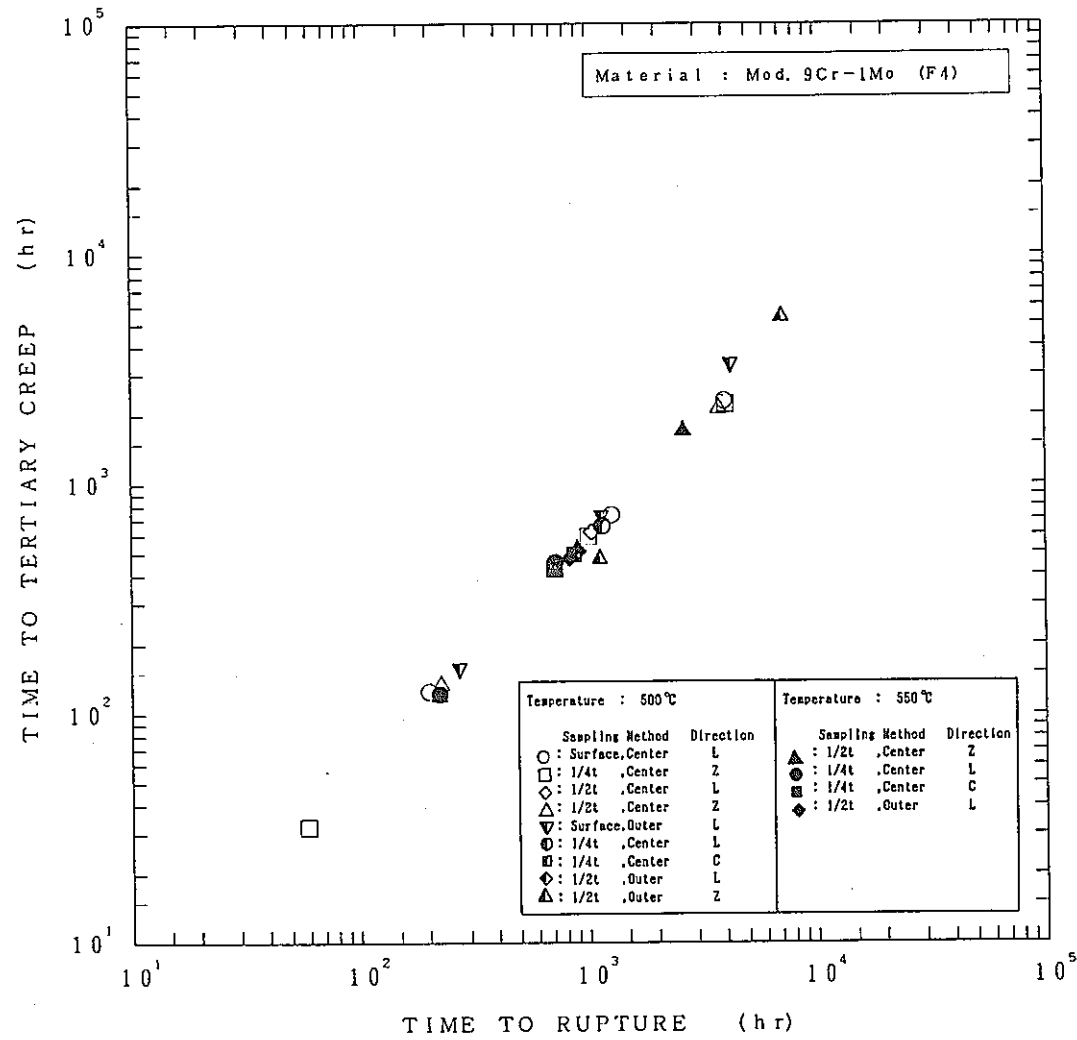


Fig. 9 Relation Between Time to Tertiary Creep and Time to Rupture of Mod.9Cr-1Mo(F4) Steel Forging.

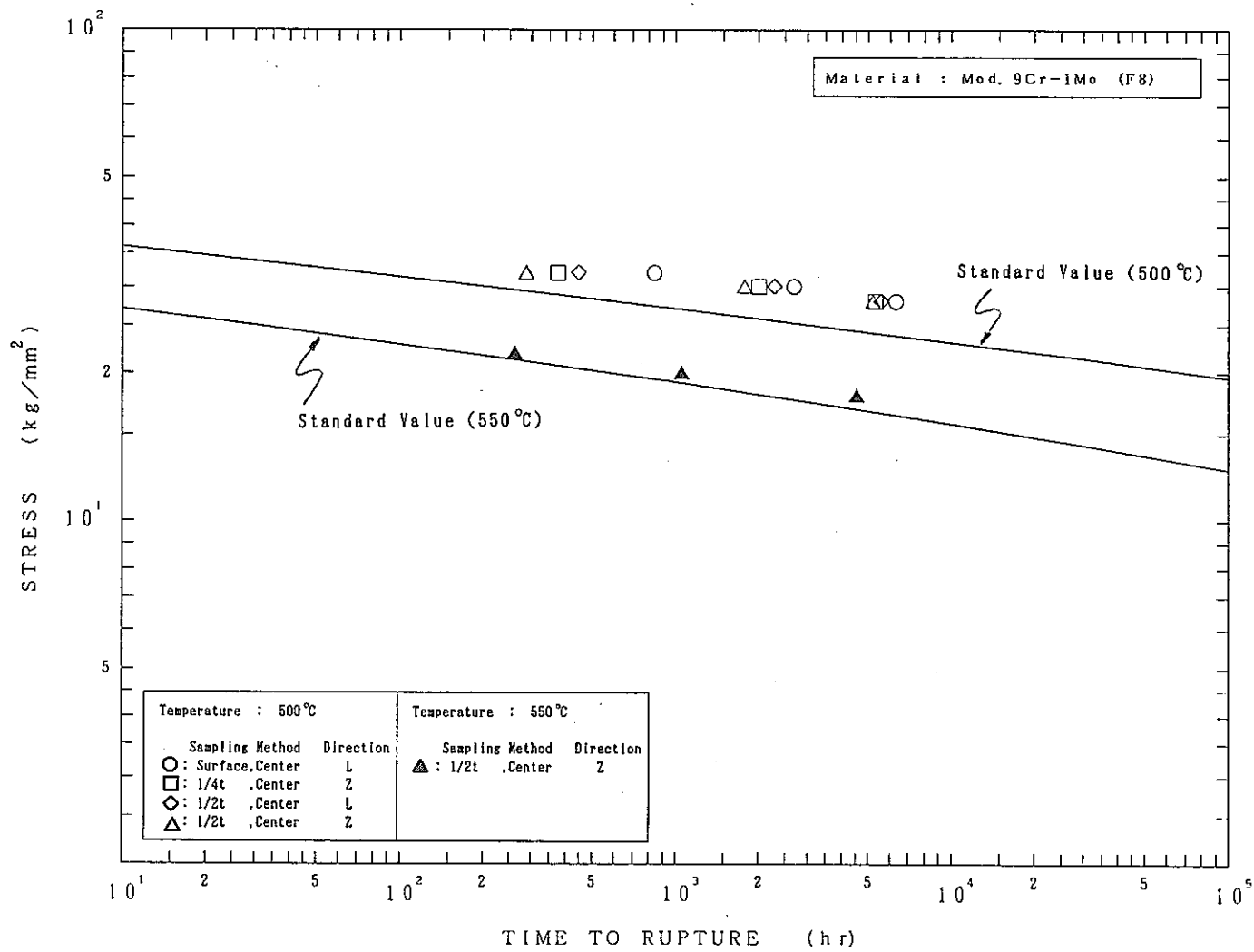


Fig.10 Creep Rupture Properties of Mod.9Cr-1Mo(F8) Steel Forging.

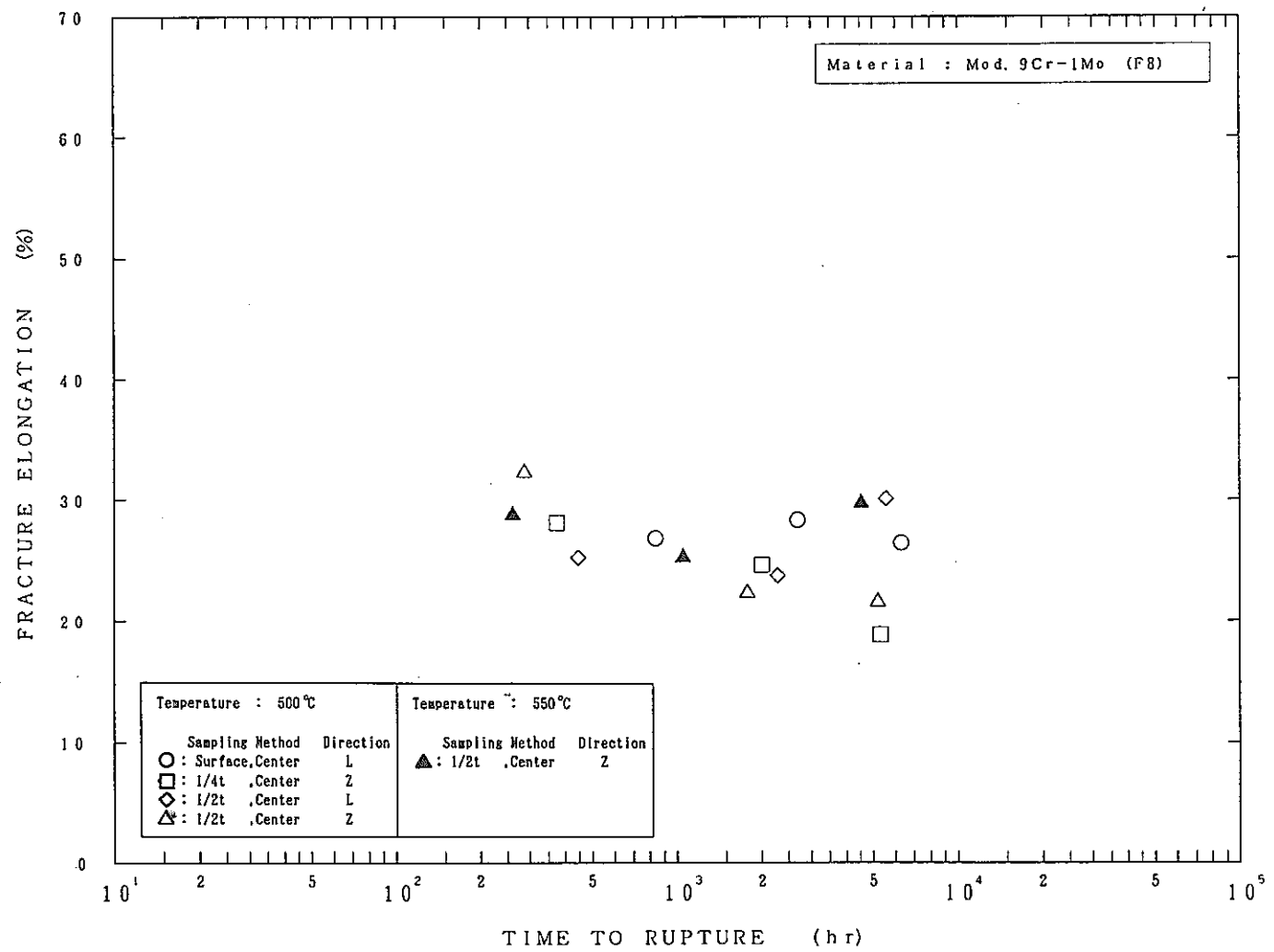


Fig.11 Relation Between Fracture Elongation and Time to Rupture of Mod.9Cr-1Mo(F8) Steel Forging.

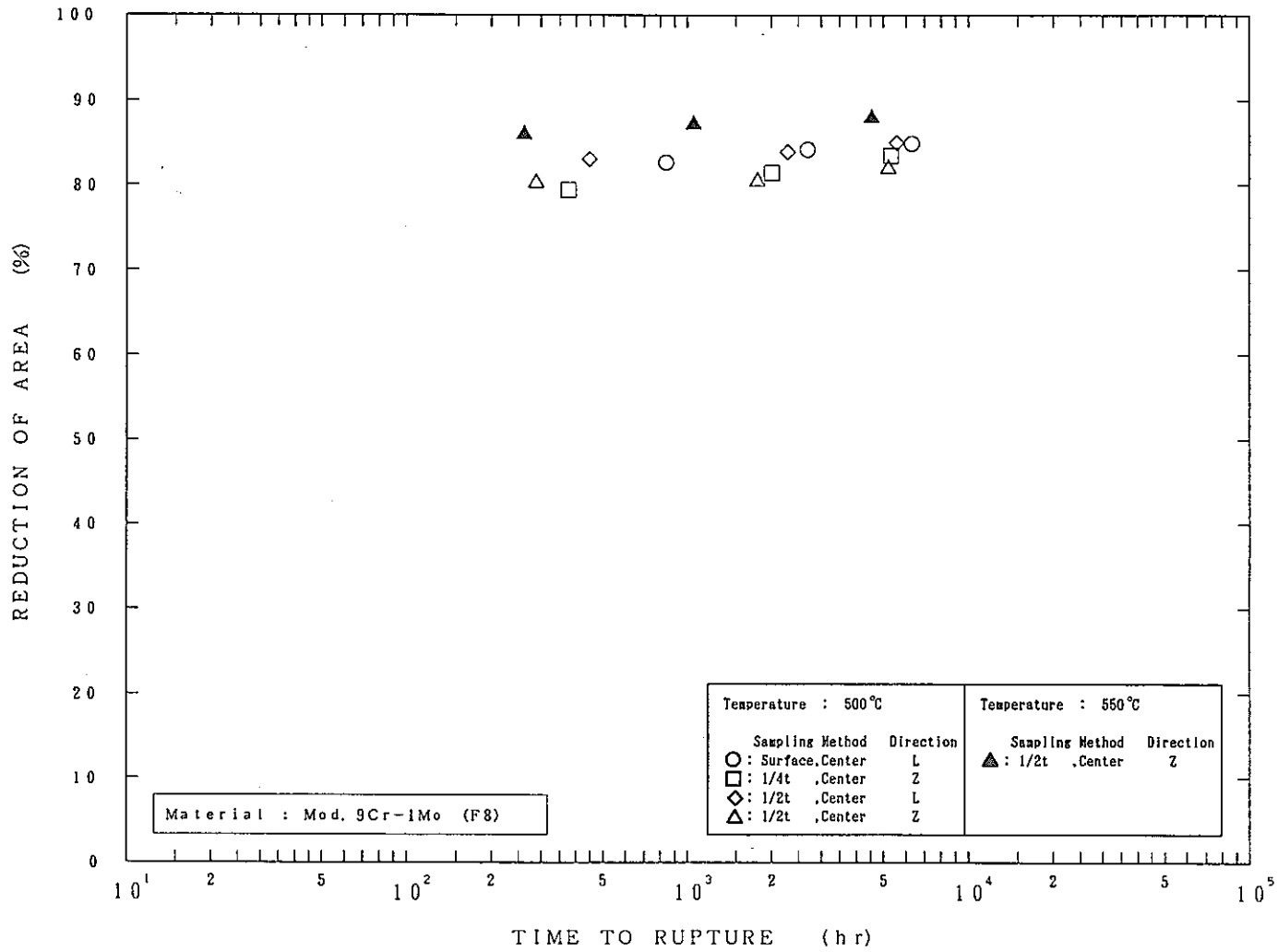


Fig.12 Relation Between Reduction of Area and Time to Rupture of Mod.9Cr-1Mo(F8) Steel Forging.

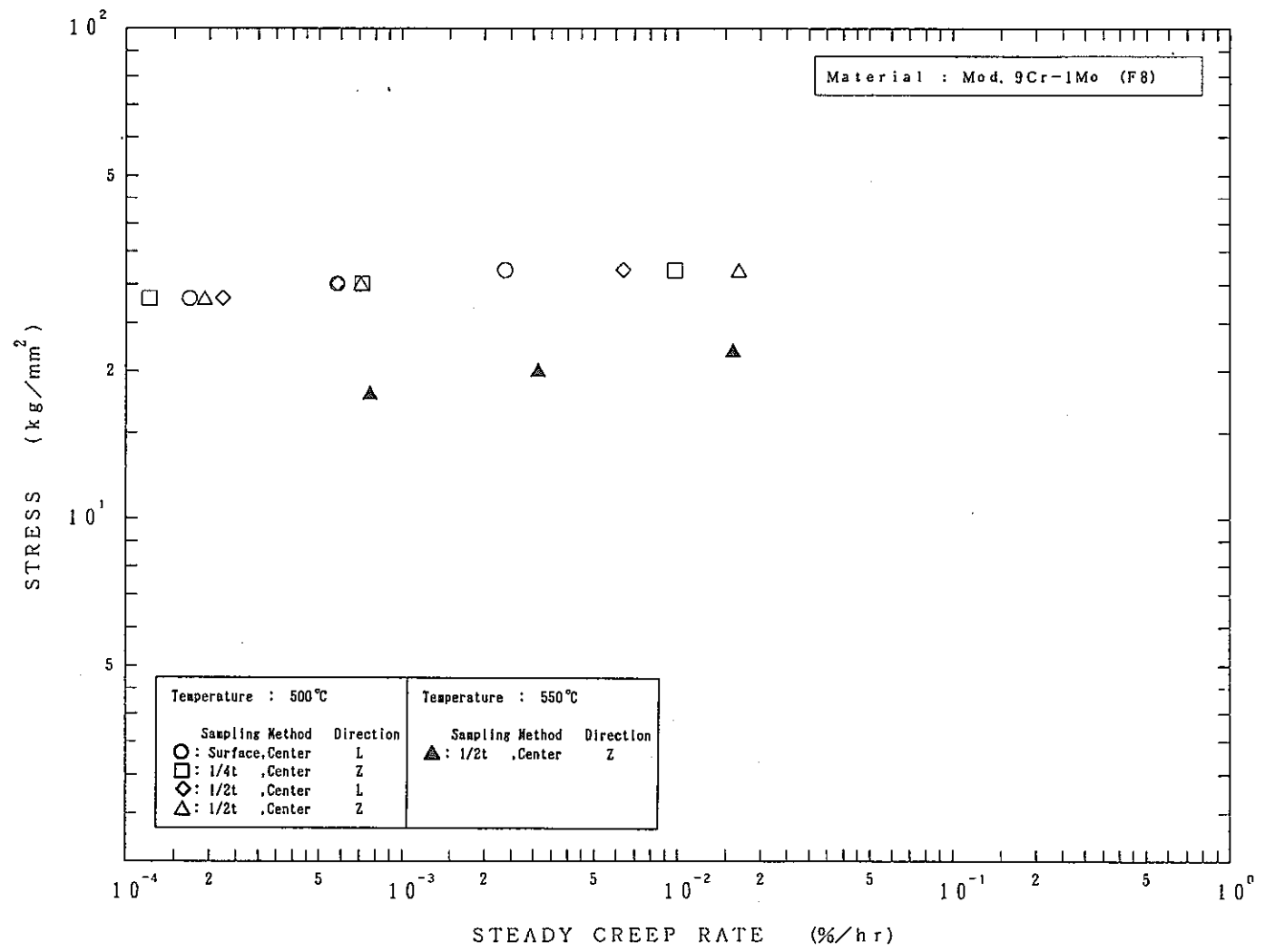


Fig.13 Steady Creep Rate of Mod.9Cr-1Mo(F8) Steel Forging.

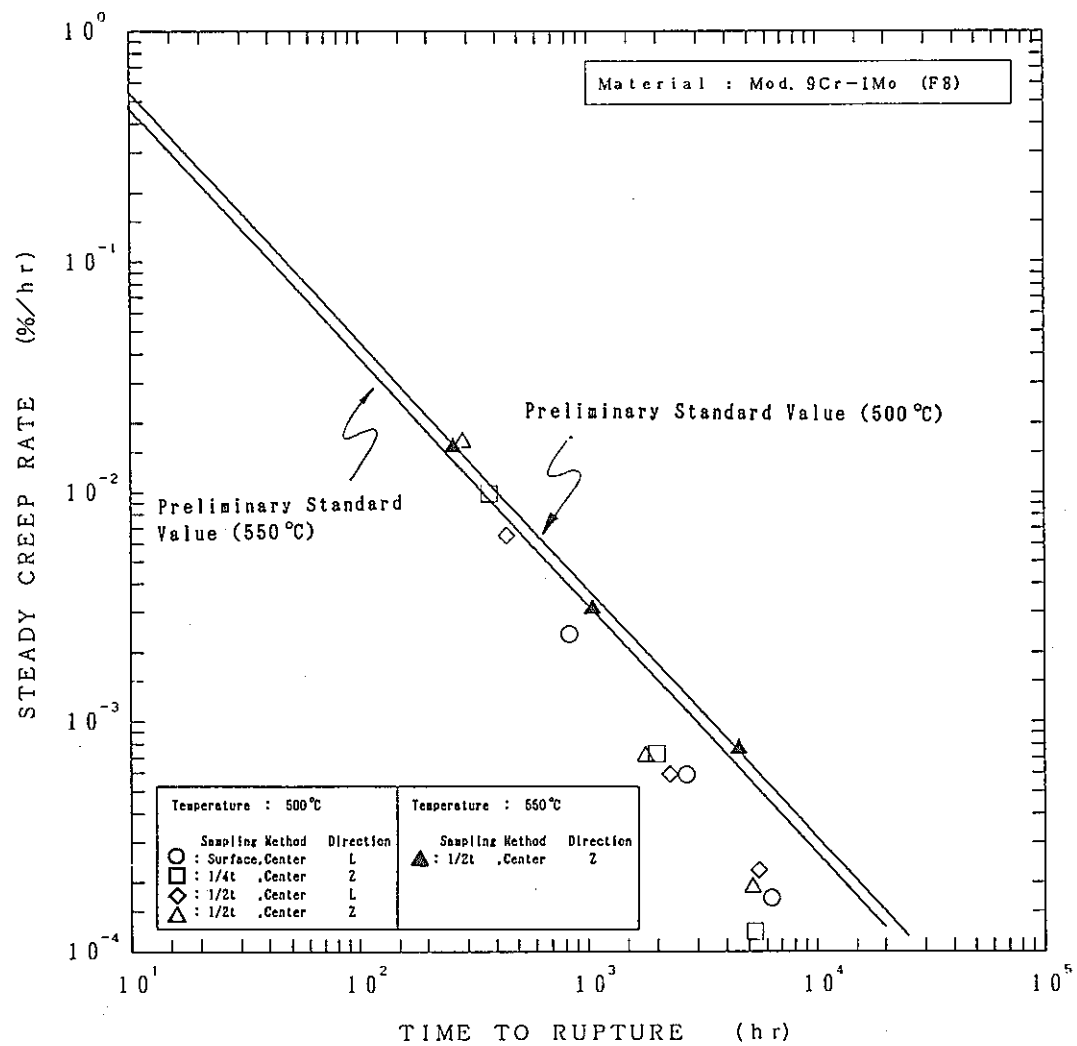


Fig.14 Relation Between Steady Creep Rate and Time to Rupture of Mod.9Cr-1Mo(F8) Steel Forging.

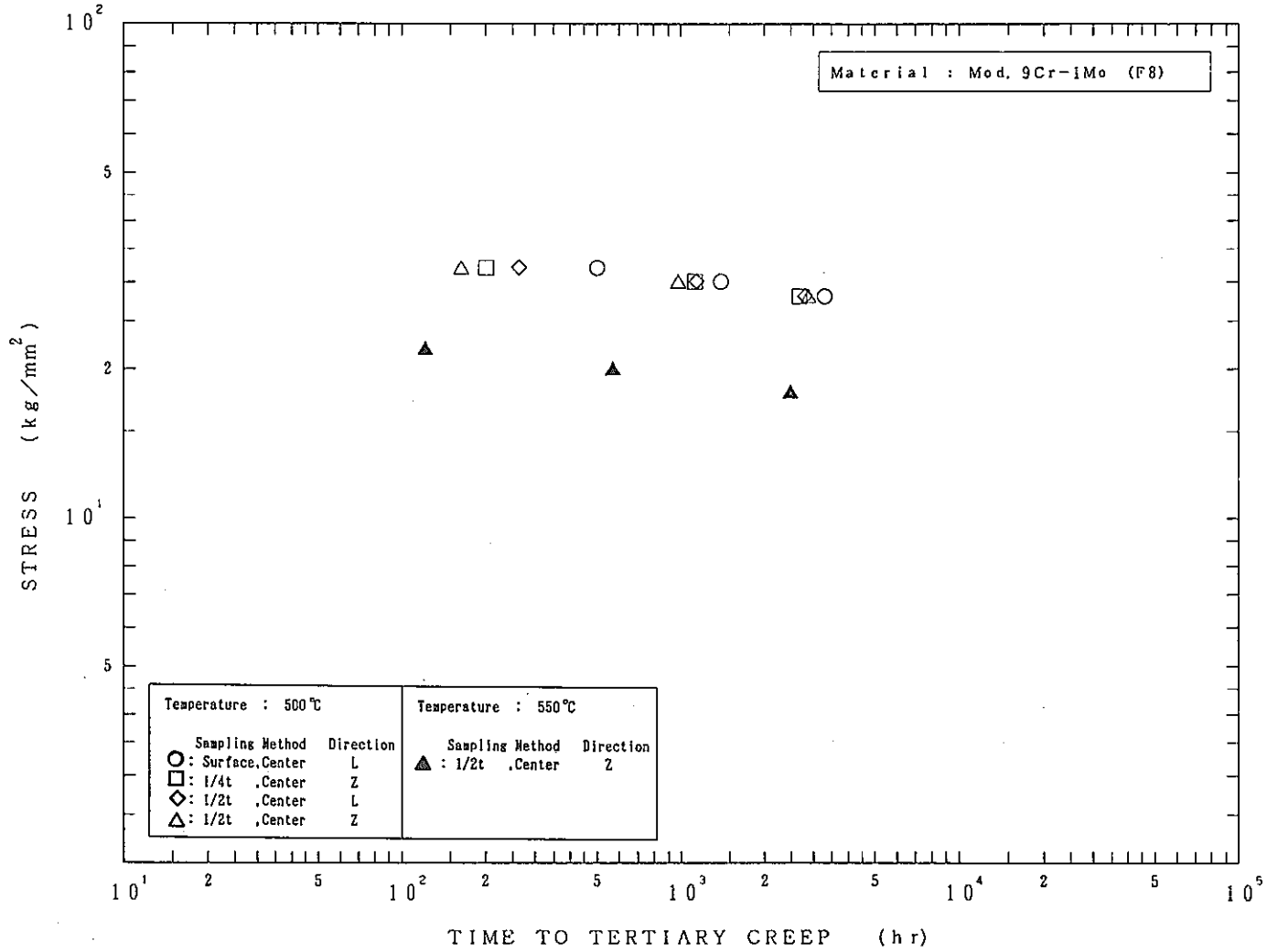


Fig.15 Time to Tertiary Creep of Mod.9Cr-1Mo(F8) Steel Forging.

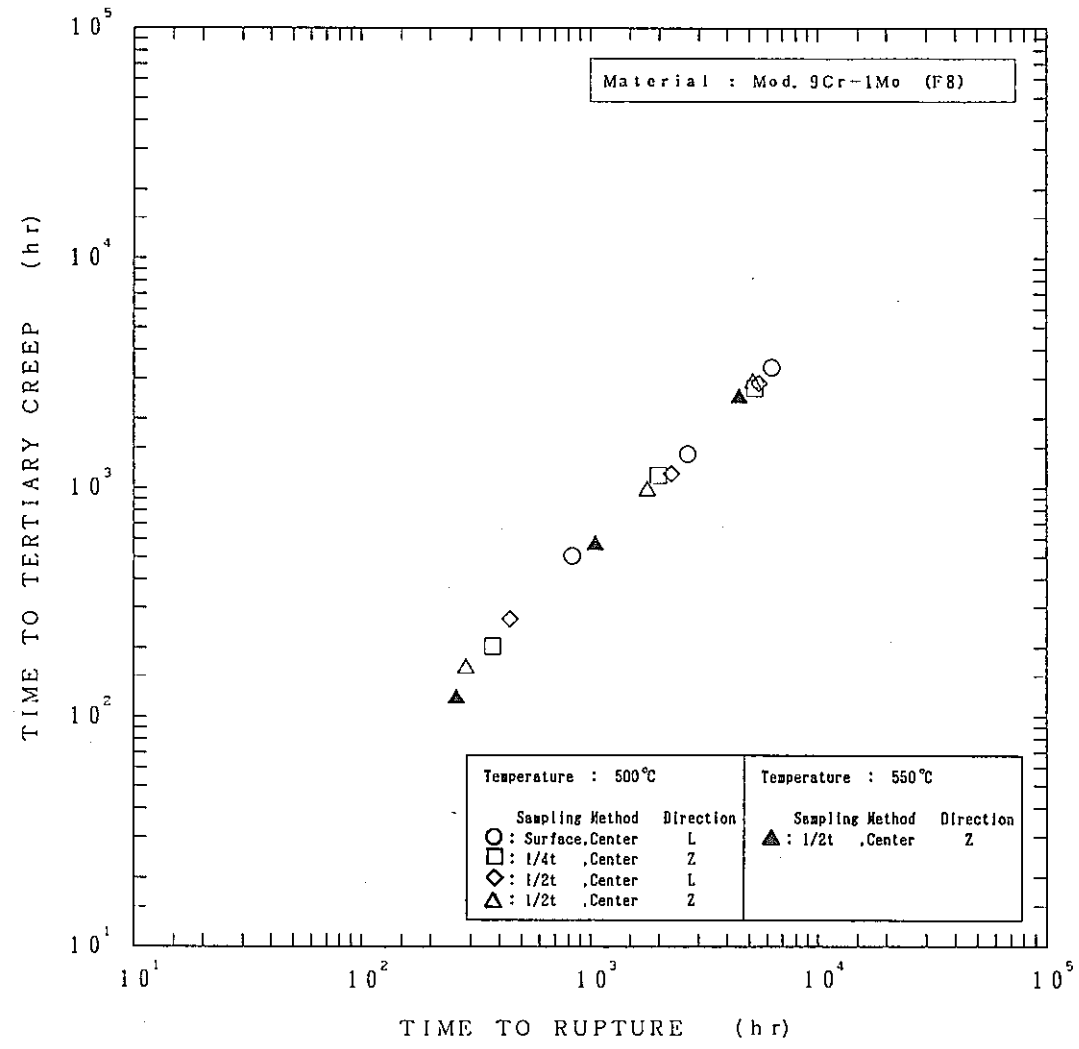


Fig.16 Relation Between Time to Tertiary Creep and Time to Rupture of Mod. 9Cr-1Mo(F8) Steel Forging.

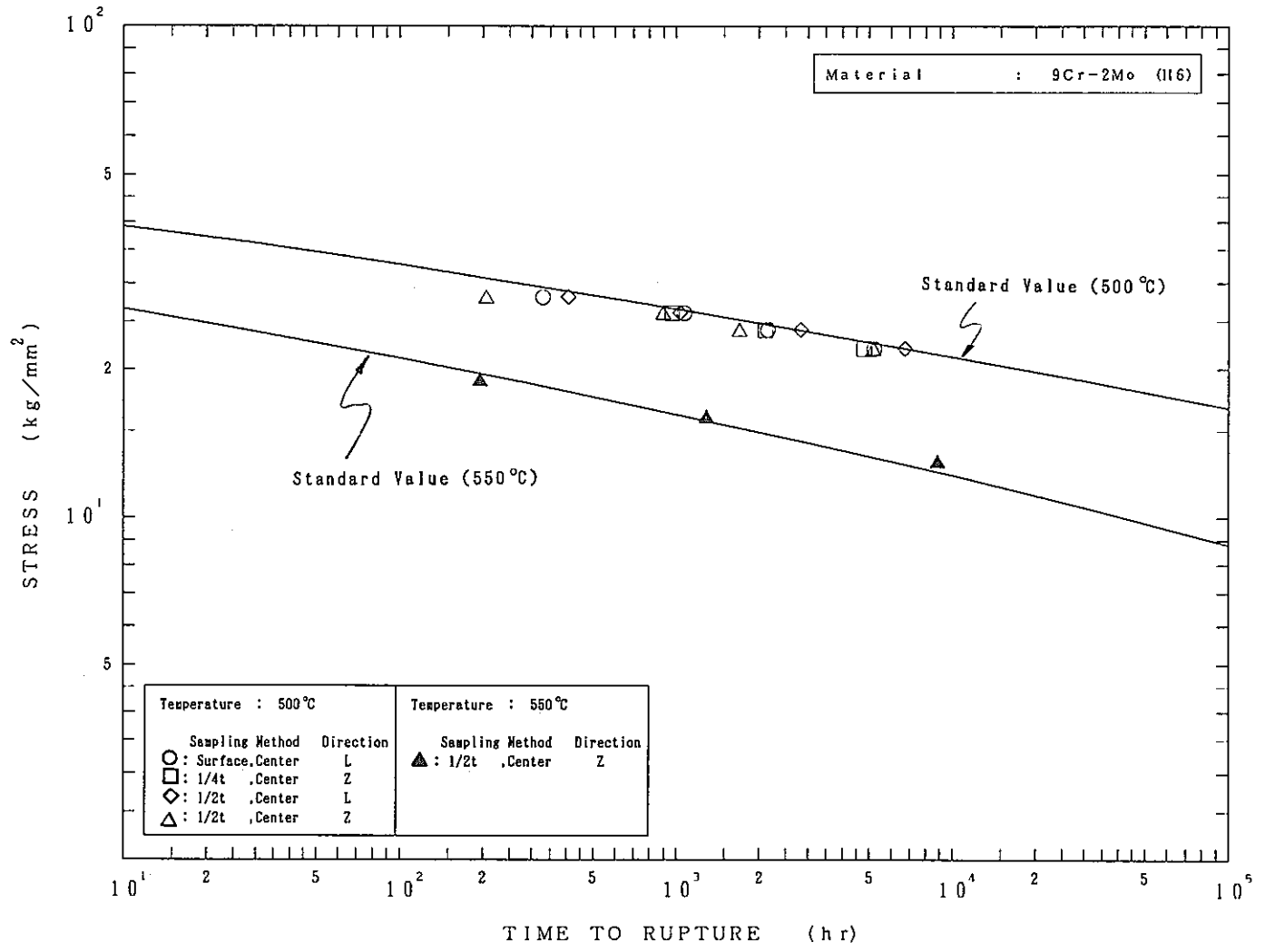


Fig.17 Creep Rupture Properties of 9Cr-2Mo(H6) Steel Forging.

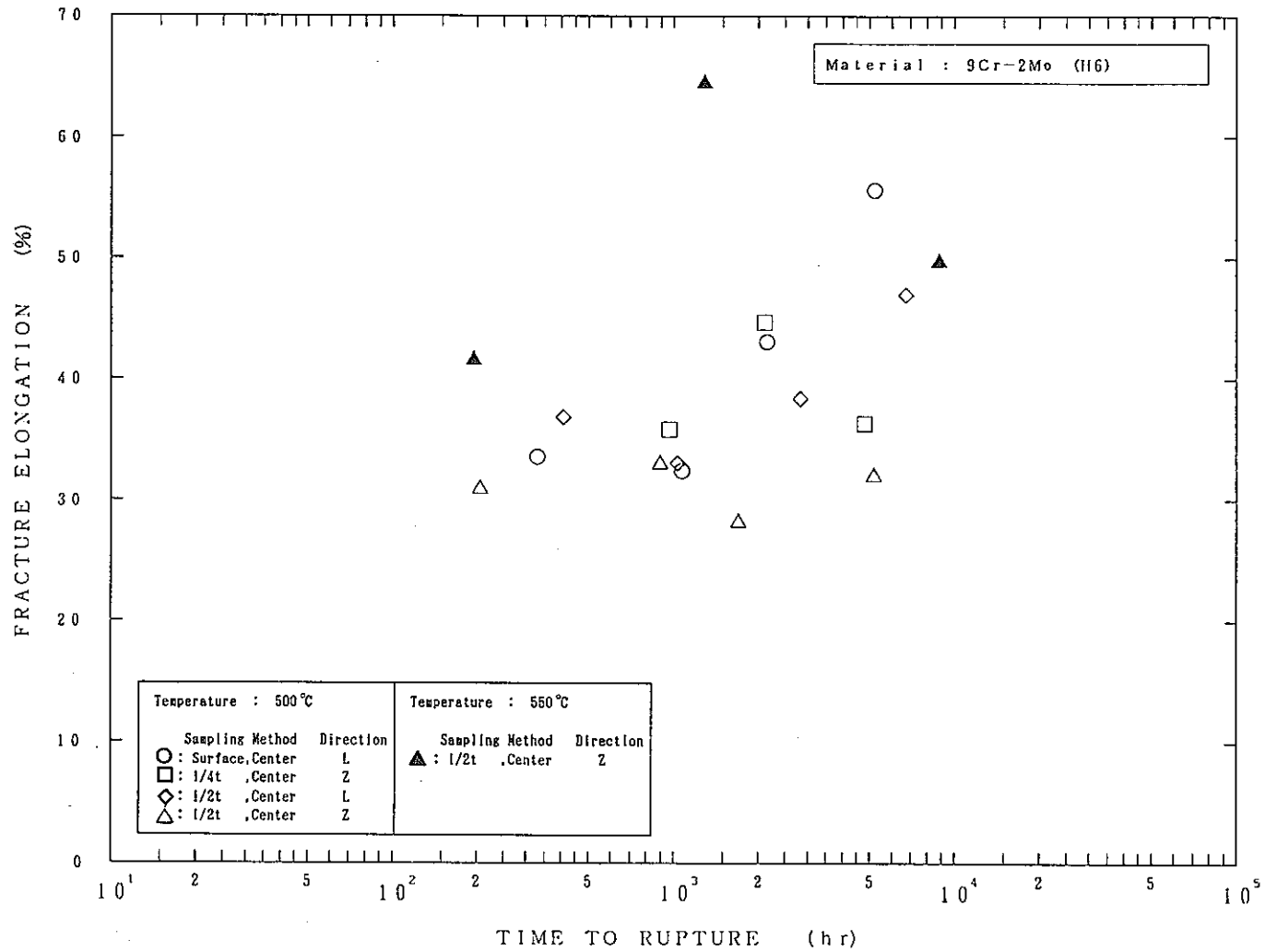


Fig.18 Relation Between Fracture Elongation and Time to Rupture of 9Cr-2Mo(H6) Steel Forging.

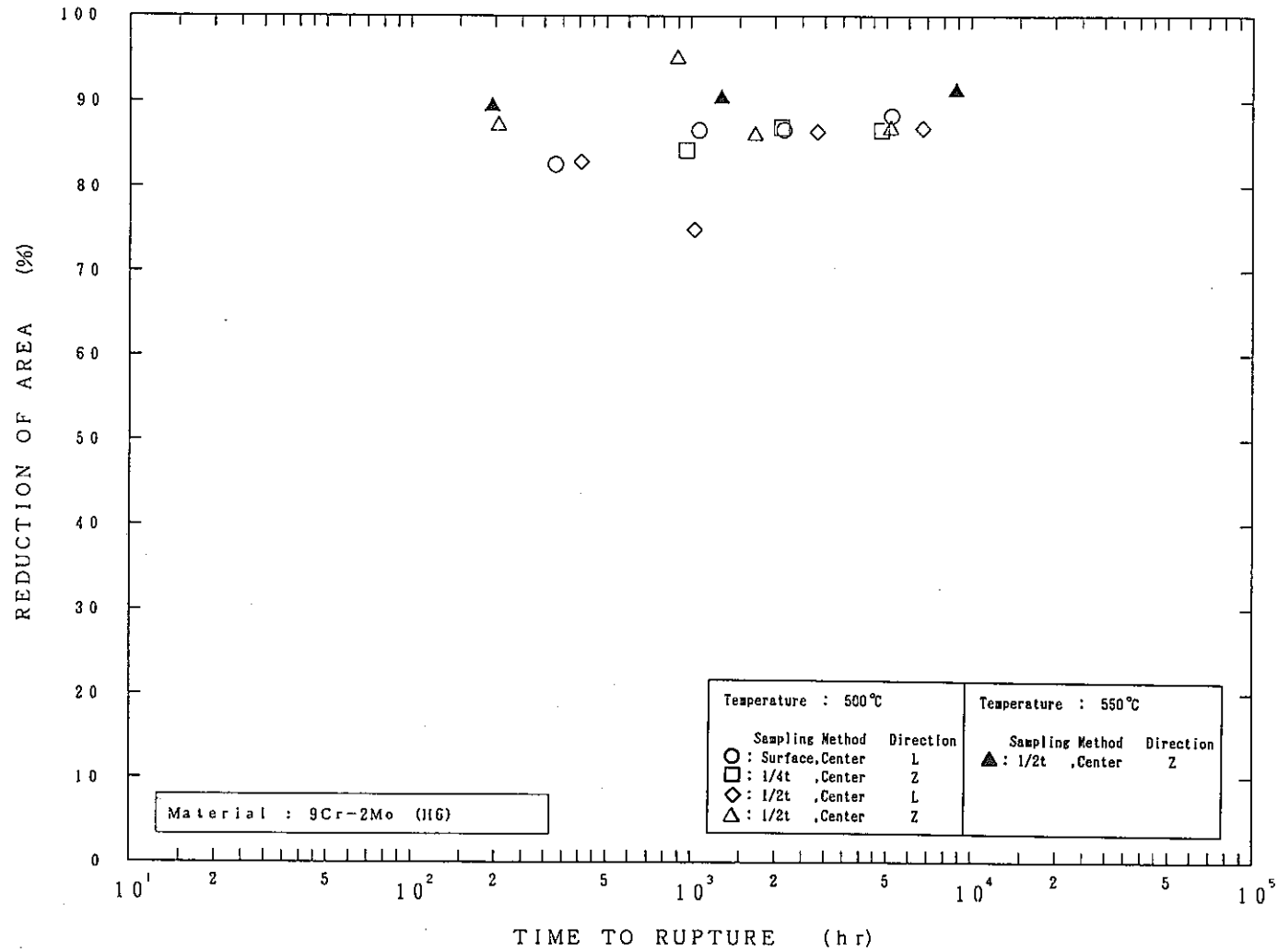


Fig.19 Relation Between Reduction of Area and Time to Rupture of 9Cr-2Mo(H6) Steel Forging.

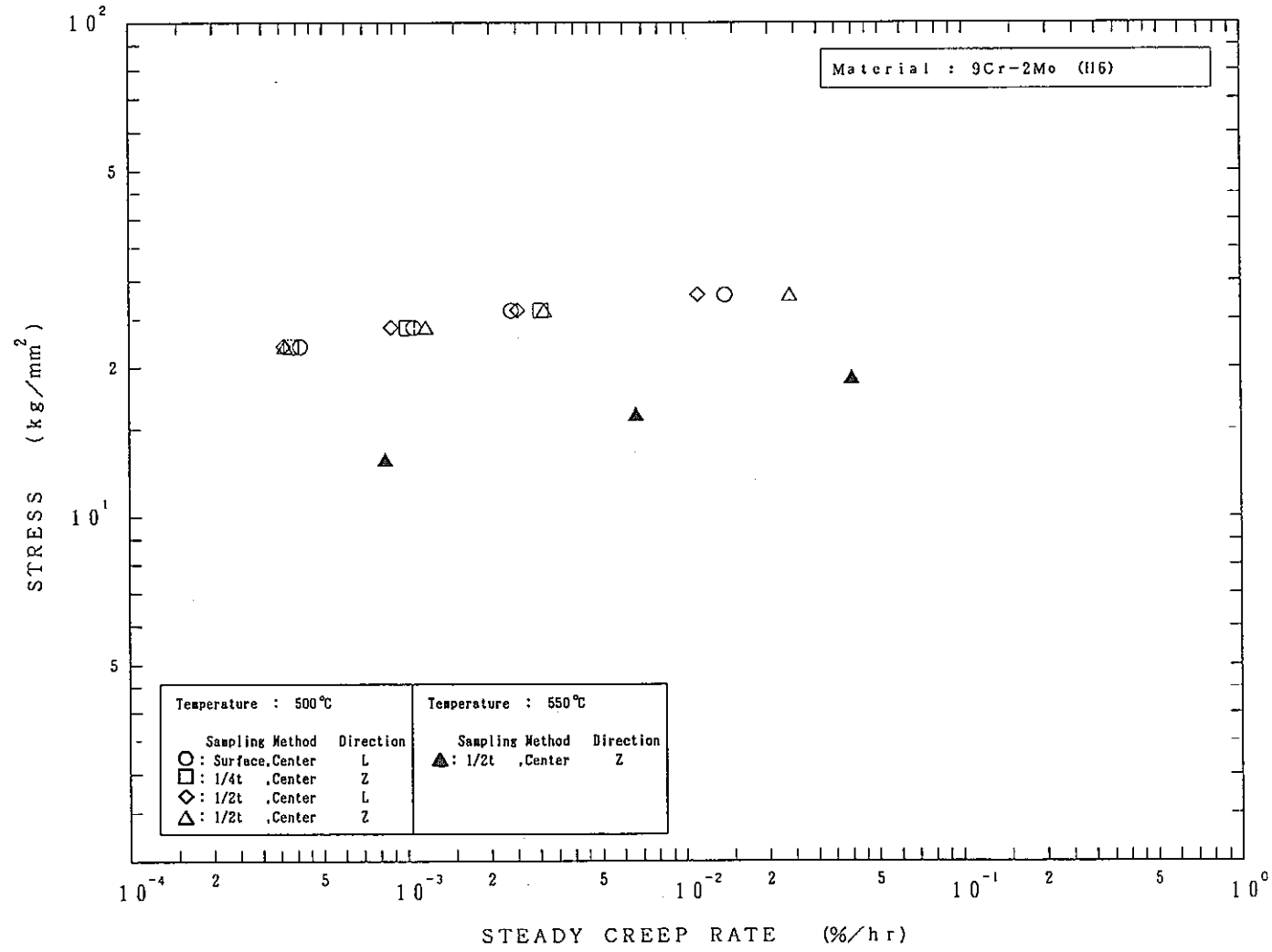


Fig.20 Steady Creep Rate of 9Cr-2Mo(H6) Steel Forging.

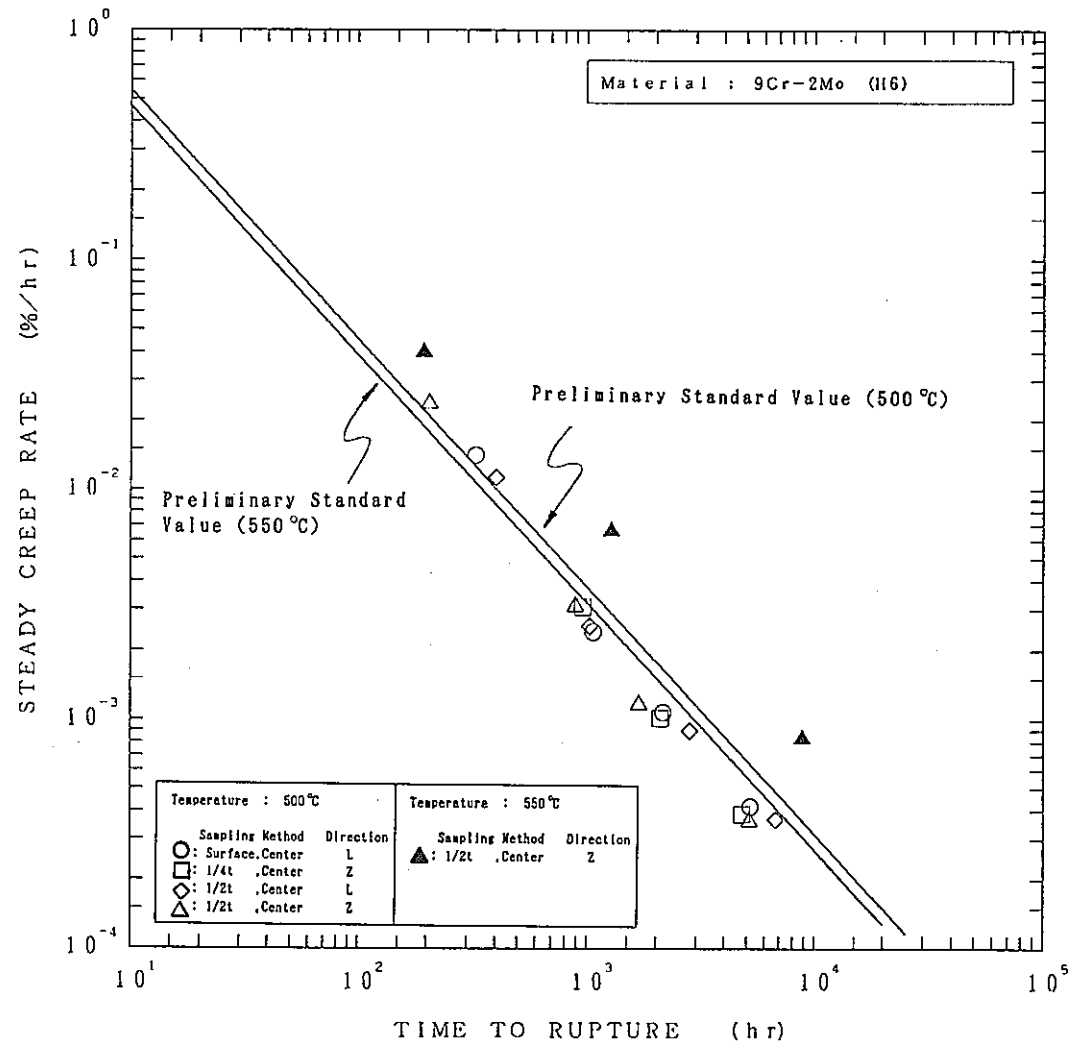


Fig.21 Relation Between Steady Creep Rate and Time to Rupture of 9Cr-2Mo(H6) Steel Forging.

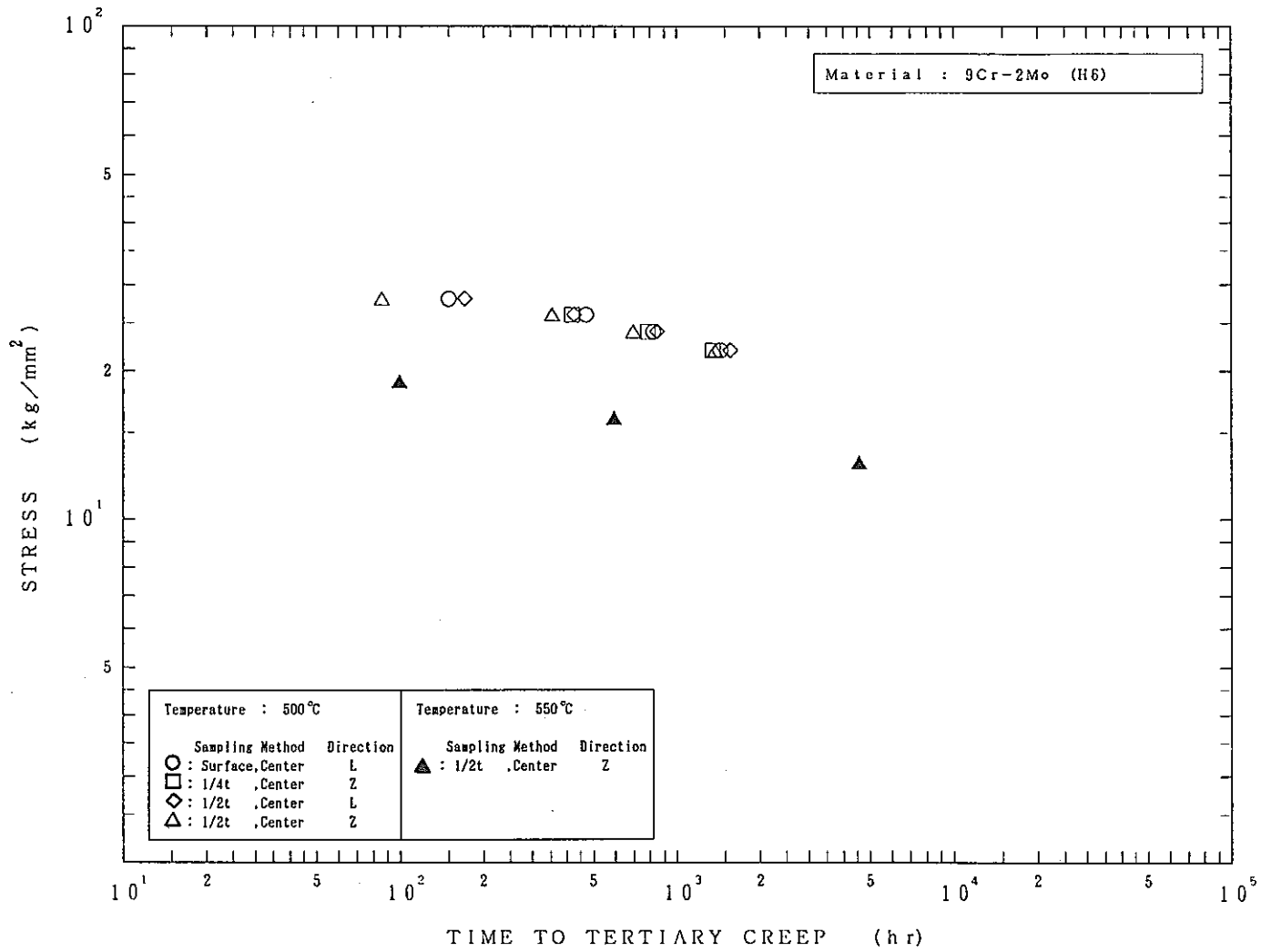


Fig. 22 Time to Tertiary Creep of 9Cr-2Mo(H6) Steel Forging.

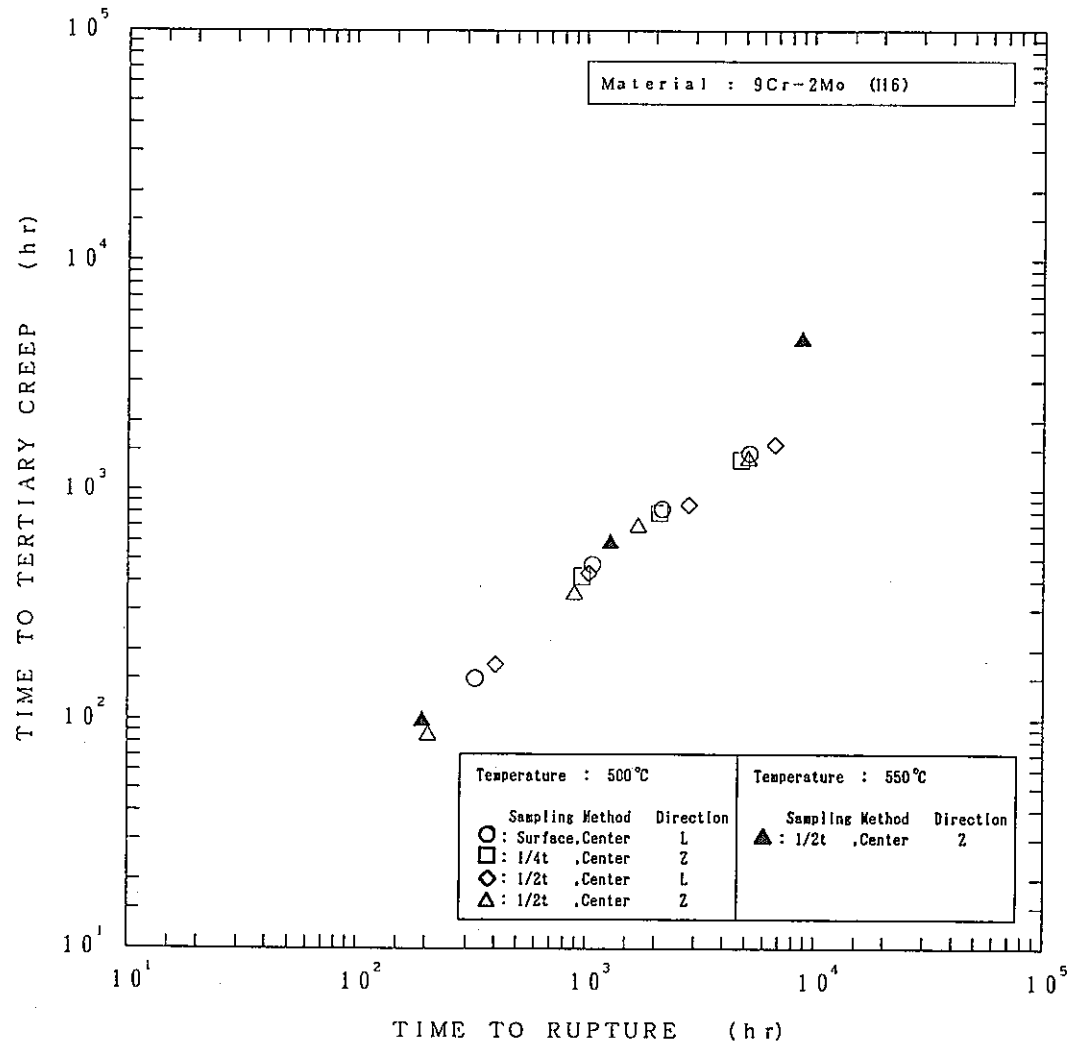


Fig.23 Relation Between Time to Tertiary Creep and Time to Rupture of 9Cr-2Mo(H6) Steel Forging.

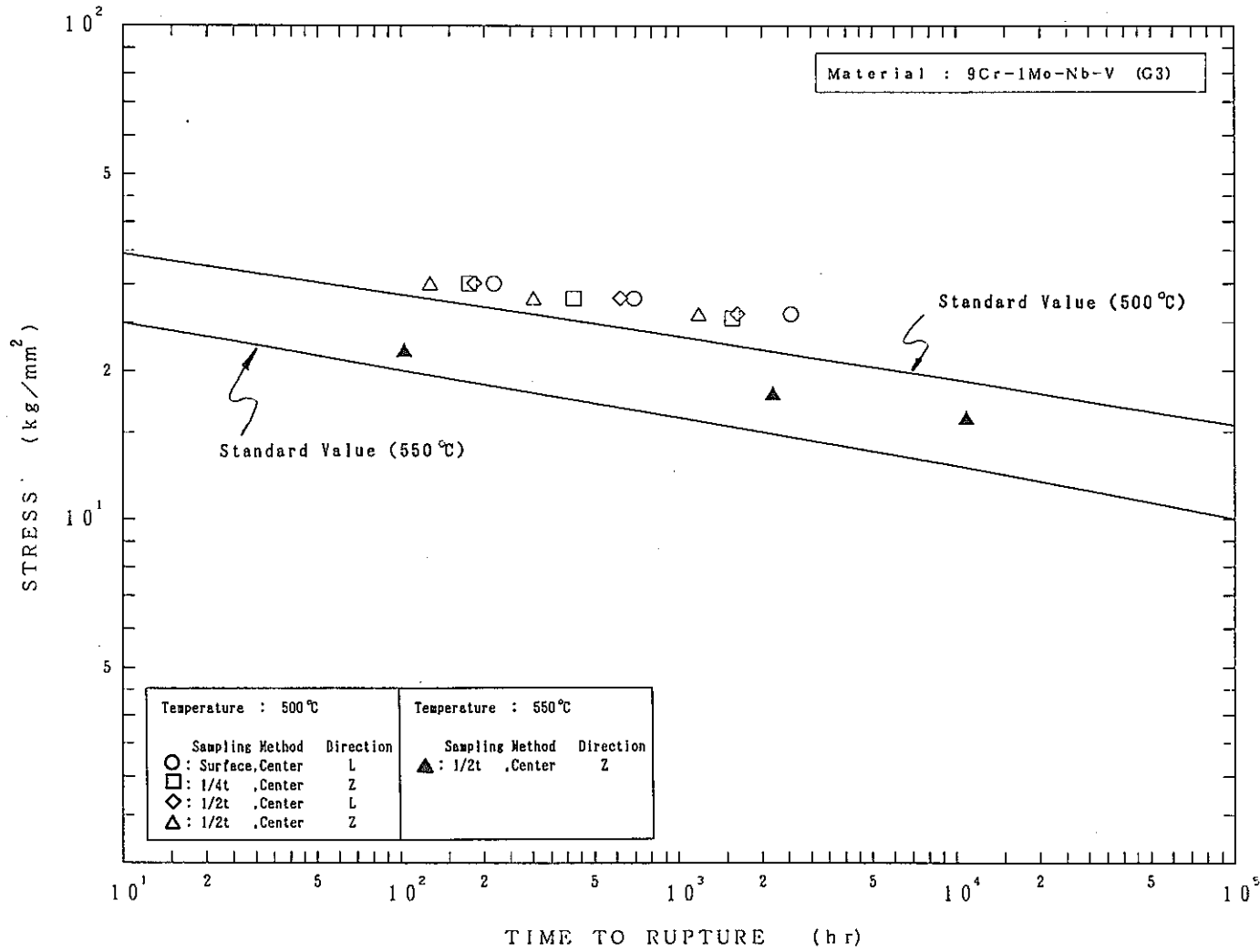


Fig.24 Creep Rupture Properties of 9Cr-1Mo-Nb-V(G3) Steel Forging.

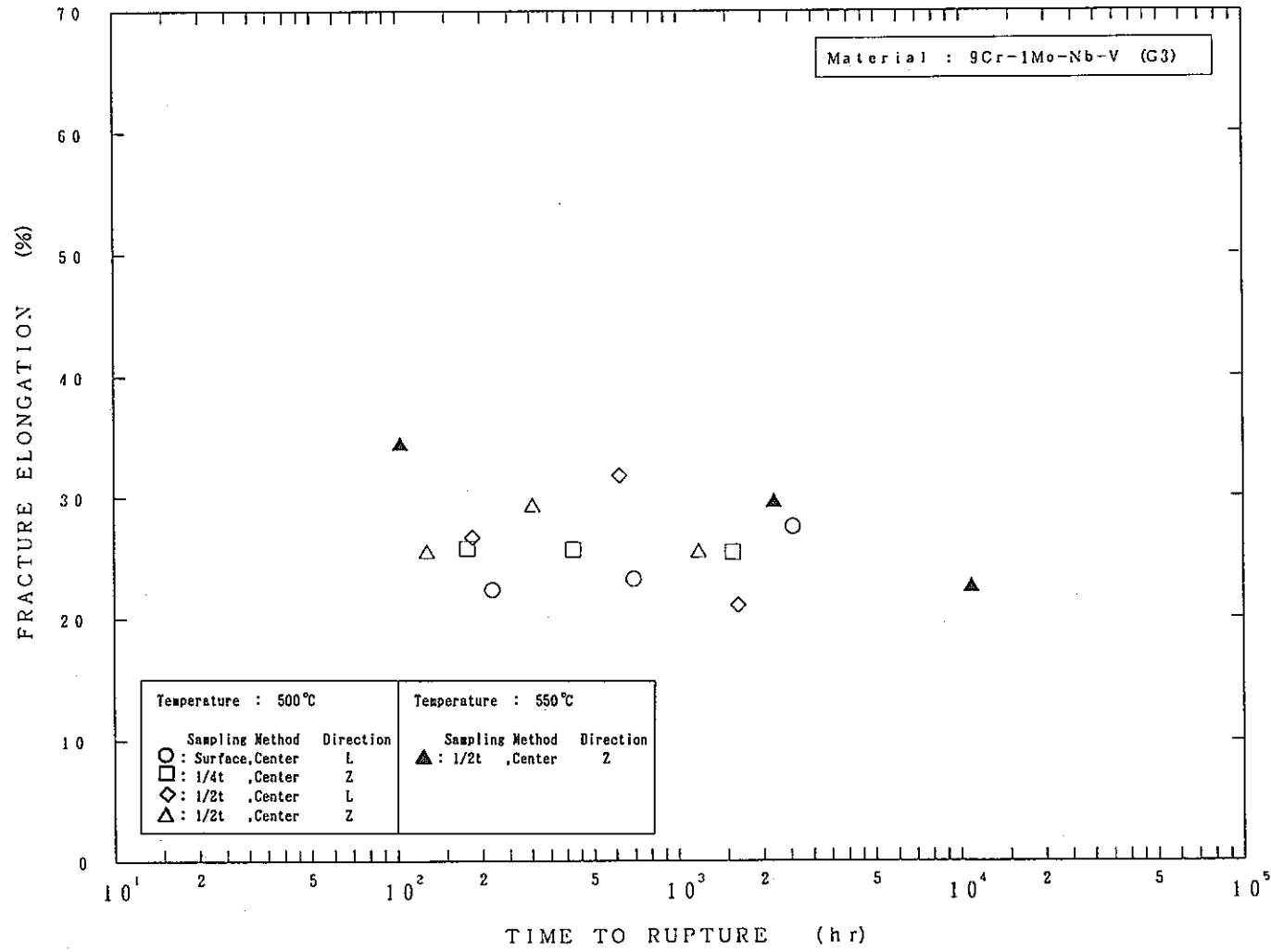


Fig.25 Relation Between Fracture Elongation and Time to Rupture of 9Cr-1Mo-Nb-V(G3) Steel Forging.

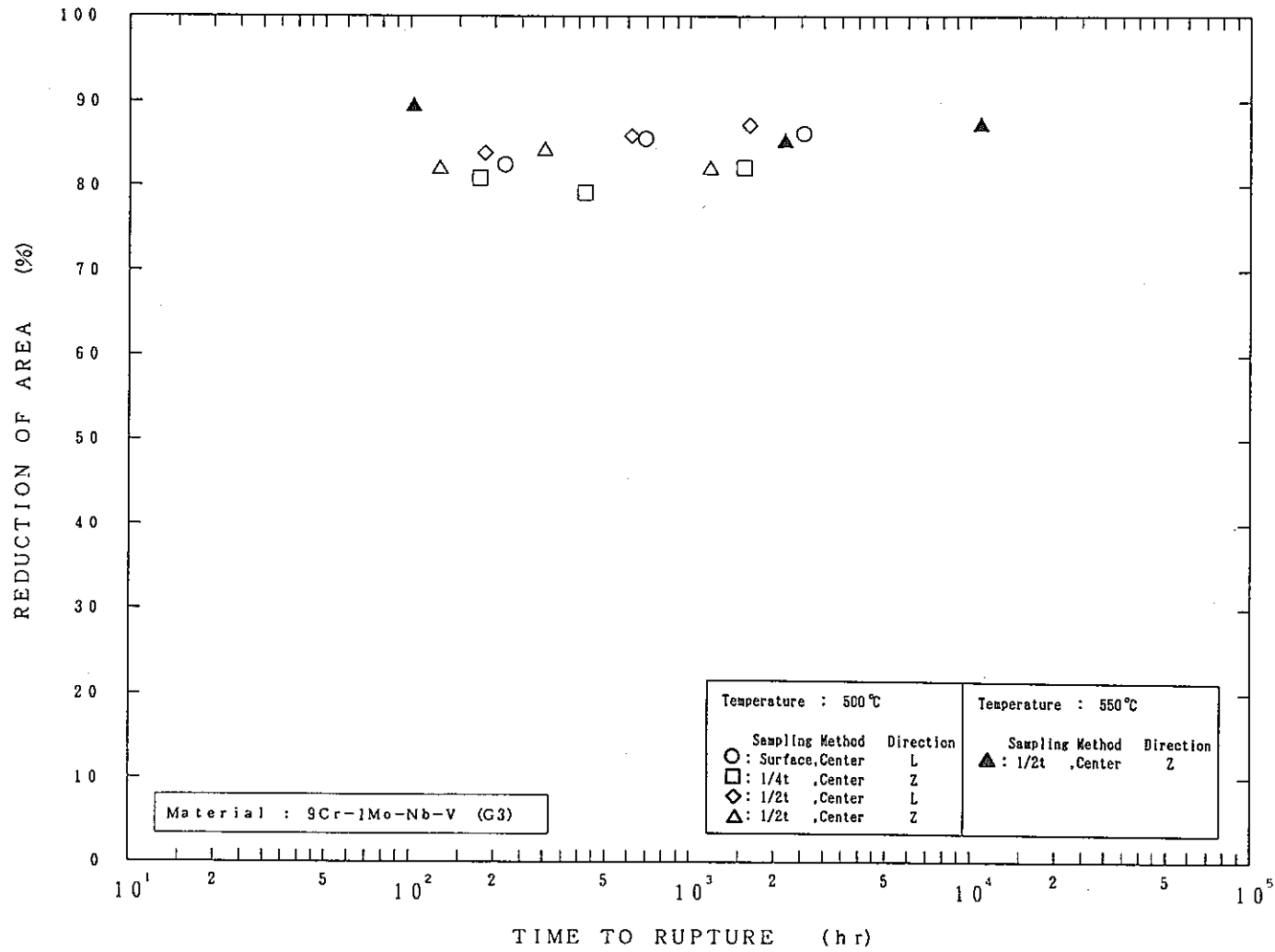


Fig. 26 Relation Between Reduction of Area and Time to Rupture of 9Cr-1Mo-Nb-V(G3) Steel ring.

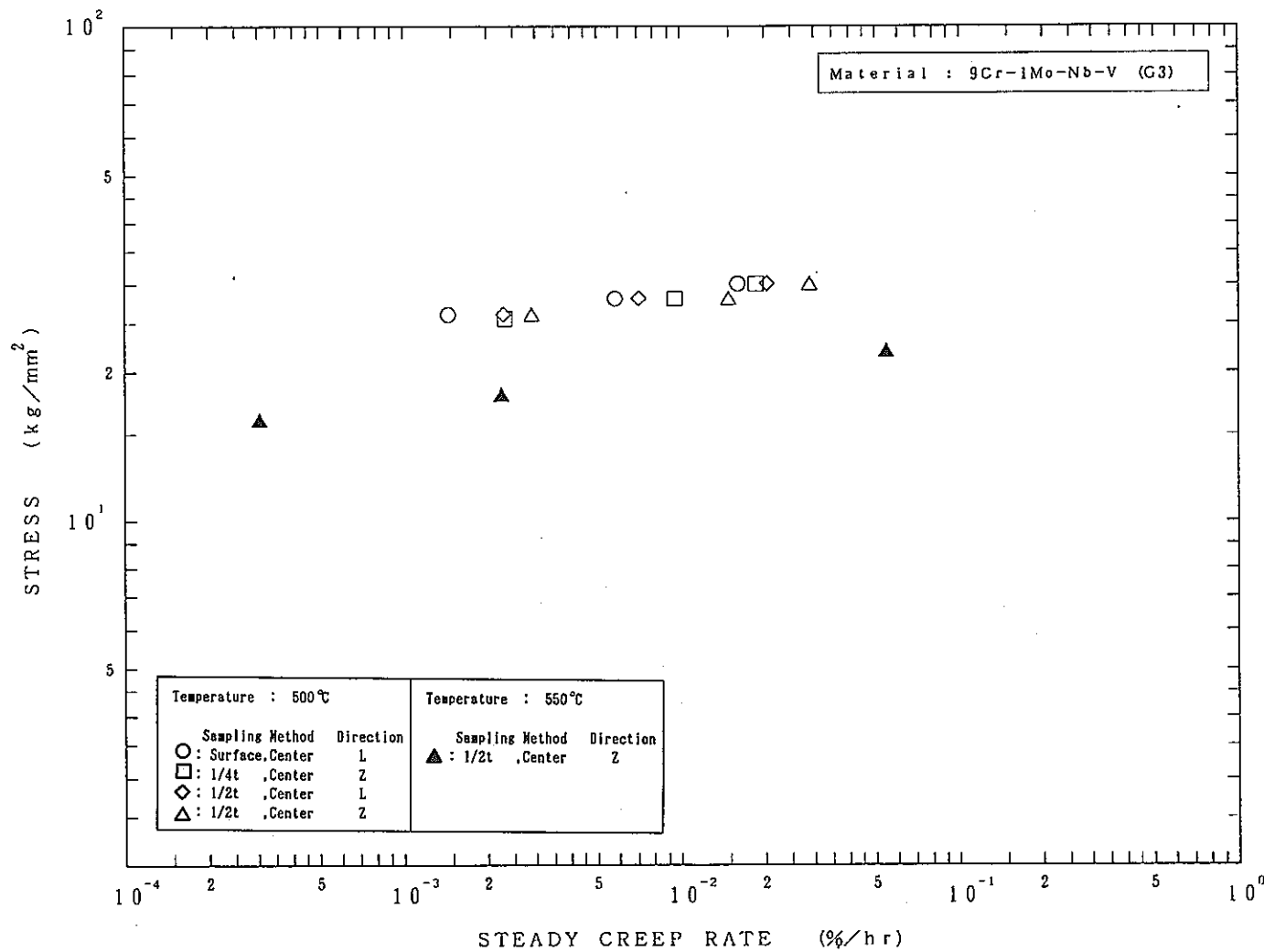


Fig.27 Steady Creep Rate of 9Cr-1Mo-Nb-V(G3) Steel Forging.

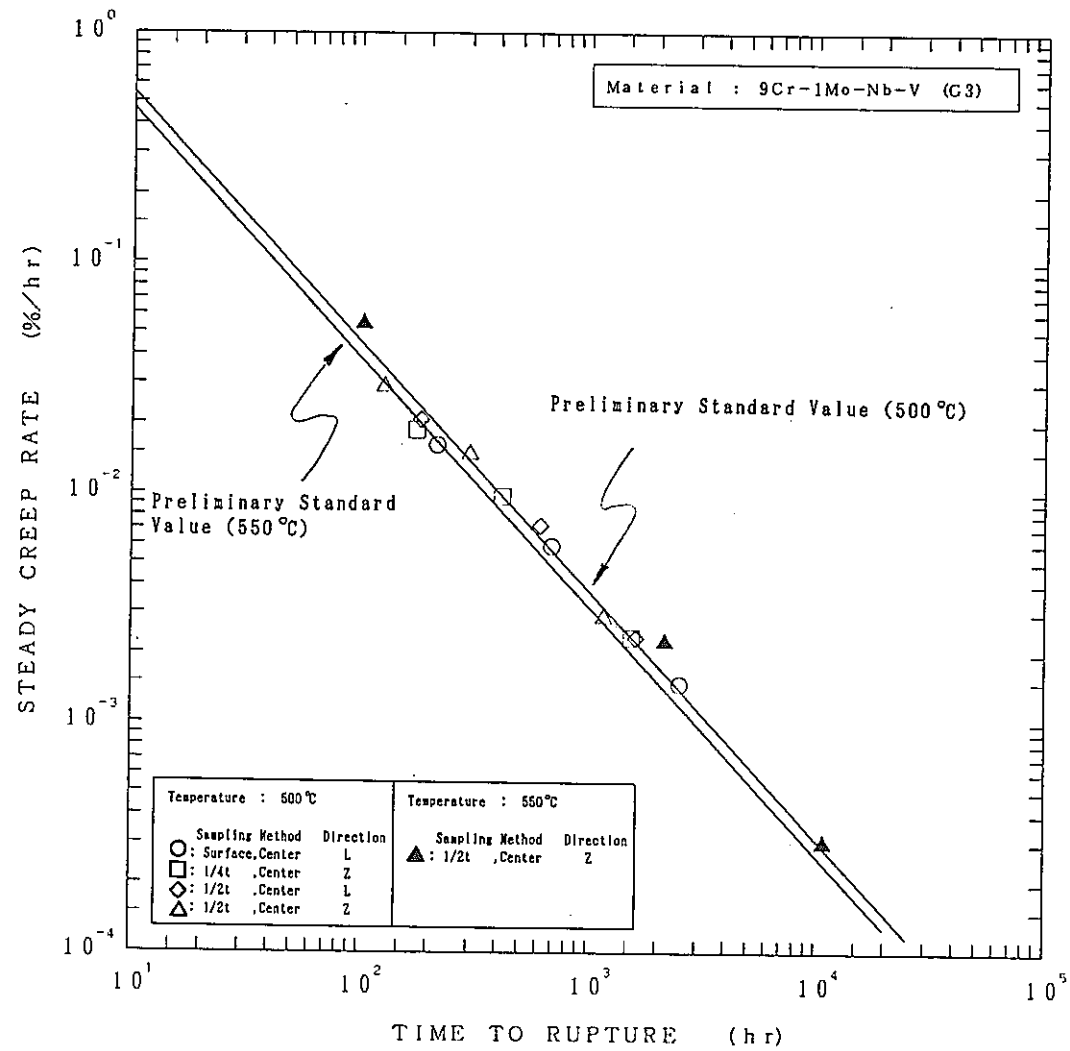


Fig.28 Relation Between Steady Creep Rate and Time to Rupture of 9Cr-1Mo-Nb-V(G3) Steel Forging.

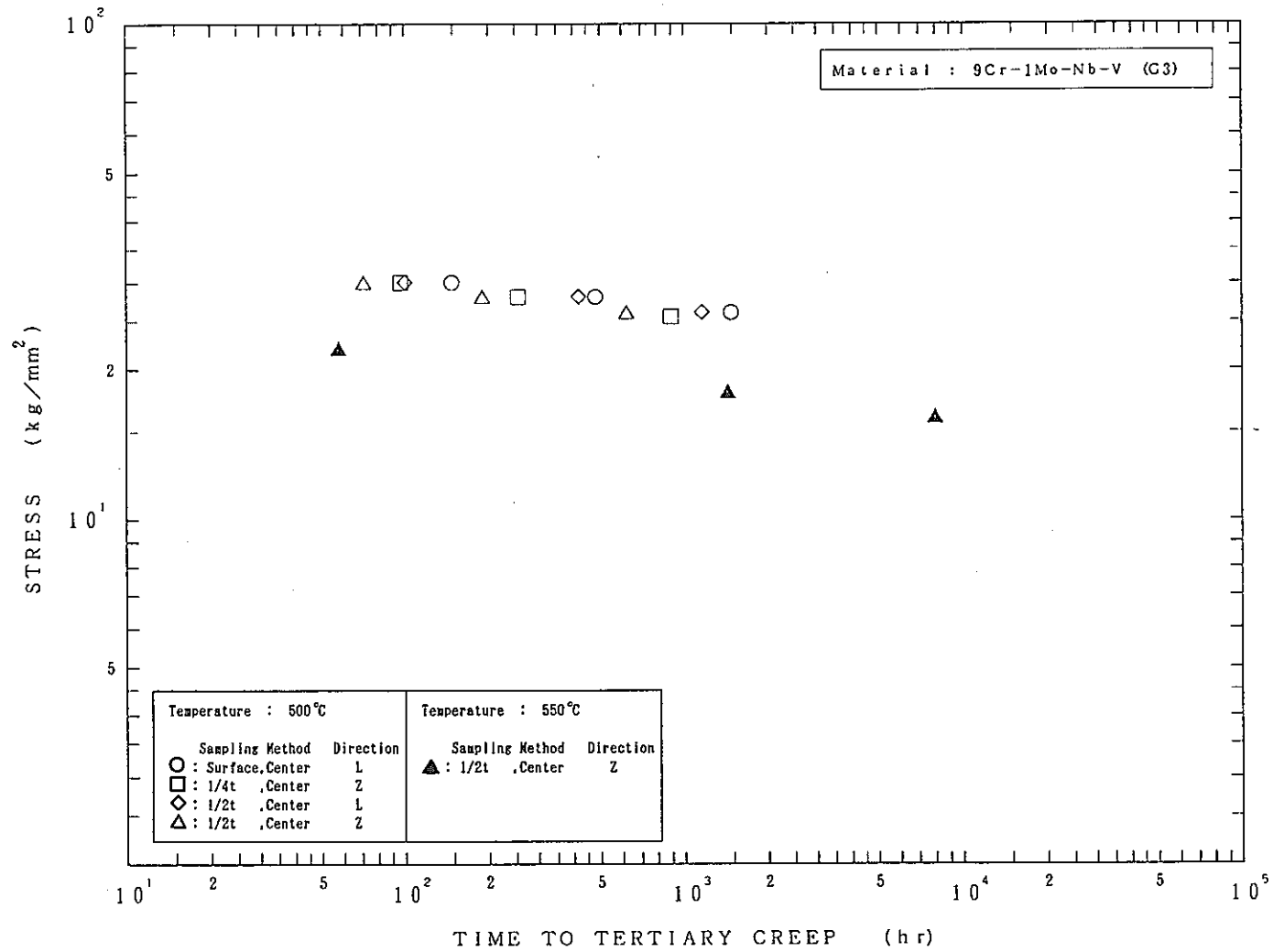


Fig.29 Time to Tertiary Creep of 9Cr-1Mo-Nb-V(G3) Steel Forging.

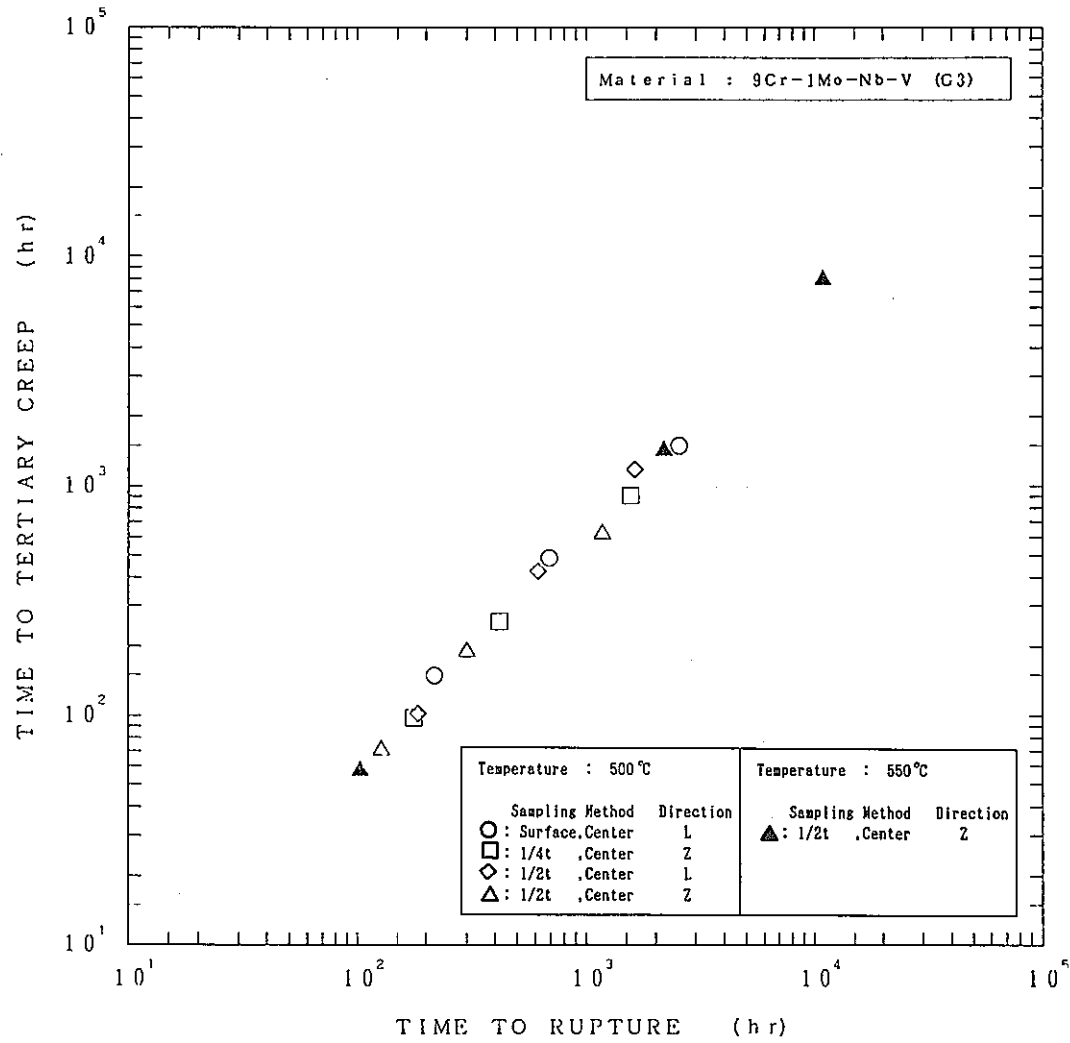


Fig. 30 Relation Between Time to Tertiary Creep and Time to Rupture of 9Cr-1Mo-Nb-V(G3) Steel Forging.

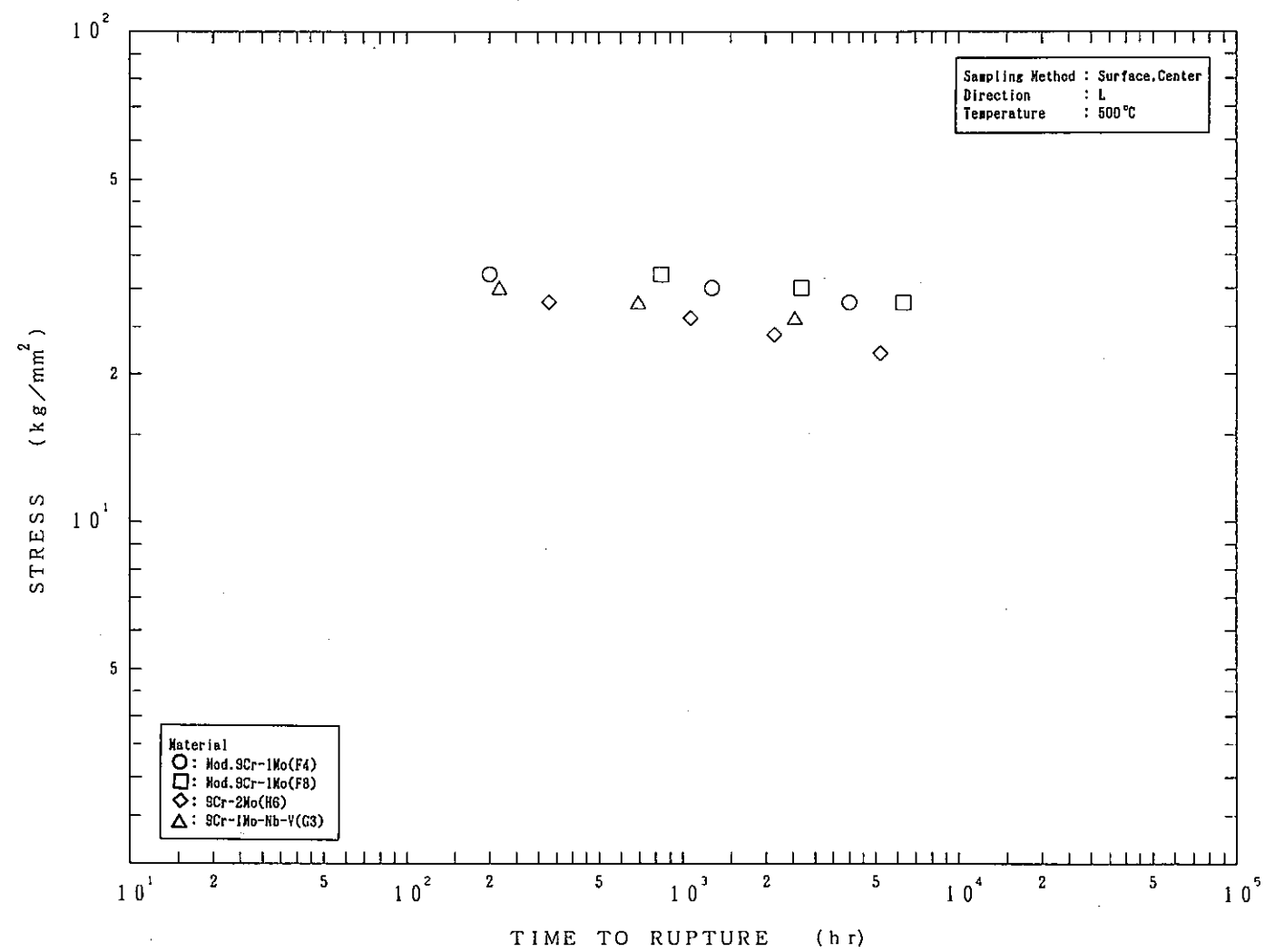


Fig. 31 Creep Rupture Properties of Various Sampling Method of 9Cr-Mo Steel Forgings.
(Surface, Center, Direction L)

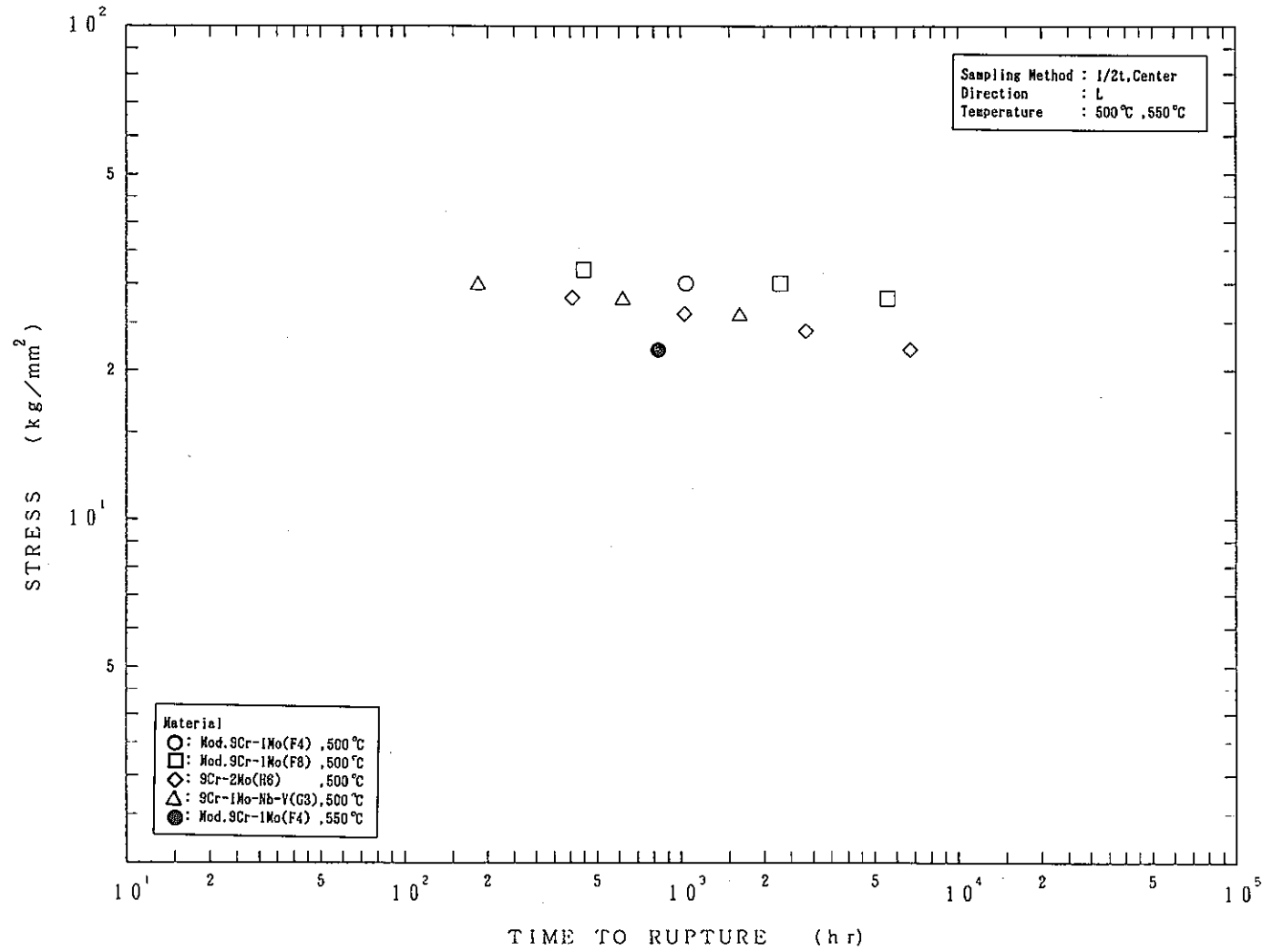


Fig.32 Creep Rupture Properties of Various Sampling Method of 9Cr-Mo Steel Forgings.
 (t/2Thickness, Center, Direction L)

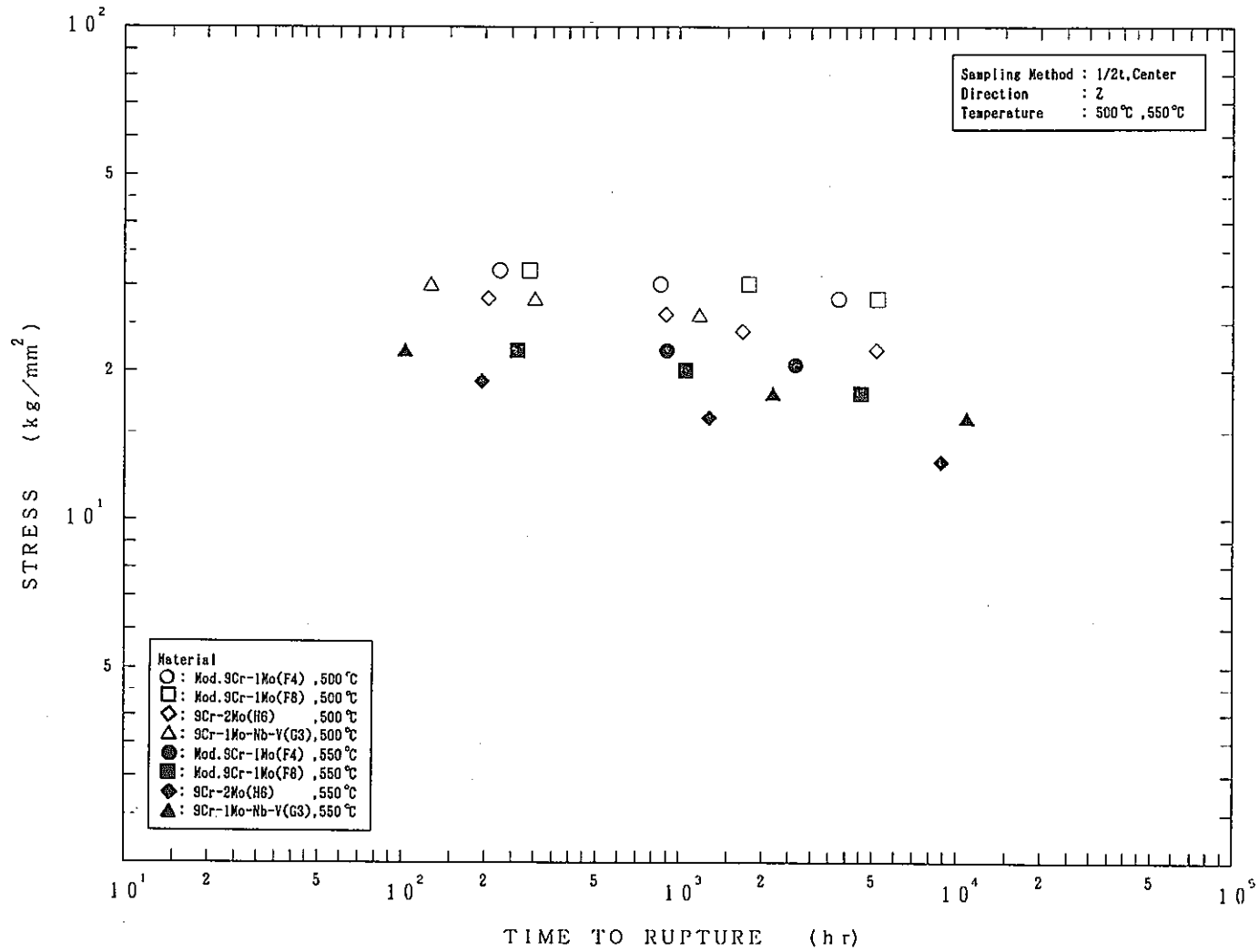


Fig. 33 Creep Rupture Properties of Various Sampling Method of 9Cr-Mo Steel Forgings.
(t/2Thickness, Center, Direction Z)

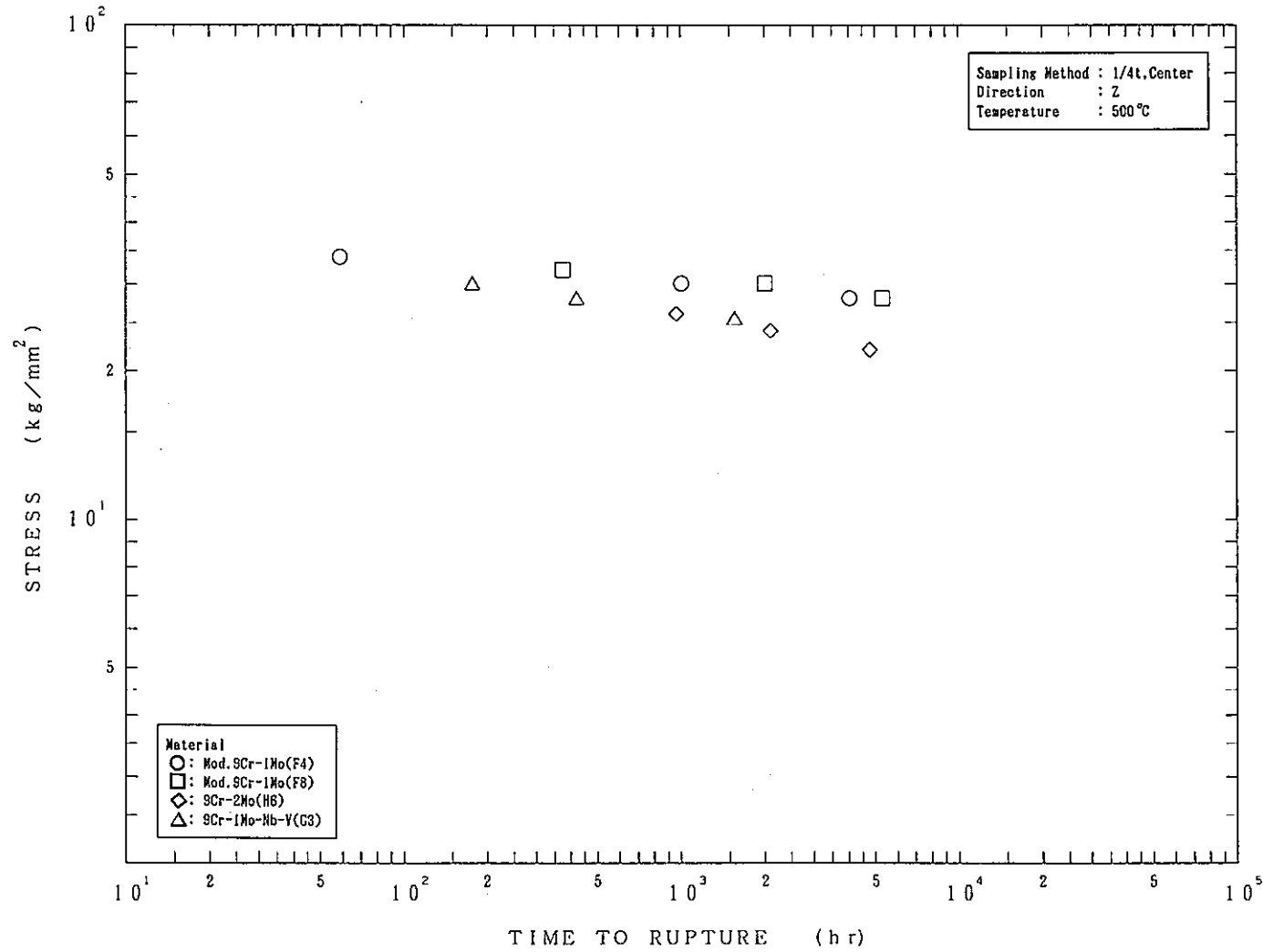


Fig.34 Creep Rupture Properties of Various Sampling Method of 9Cr-Mo Steel Forgings.
(t/4Thickness, Center, Direction Z)

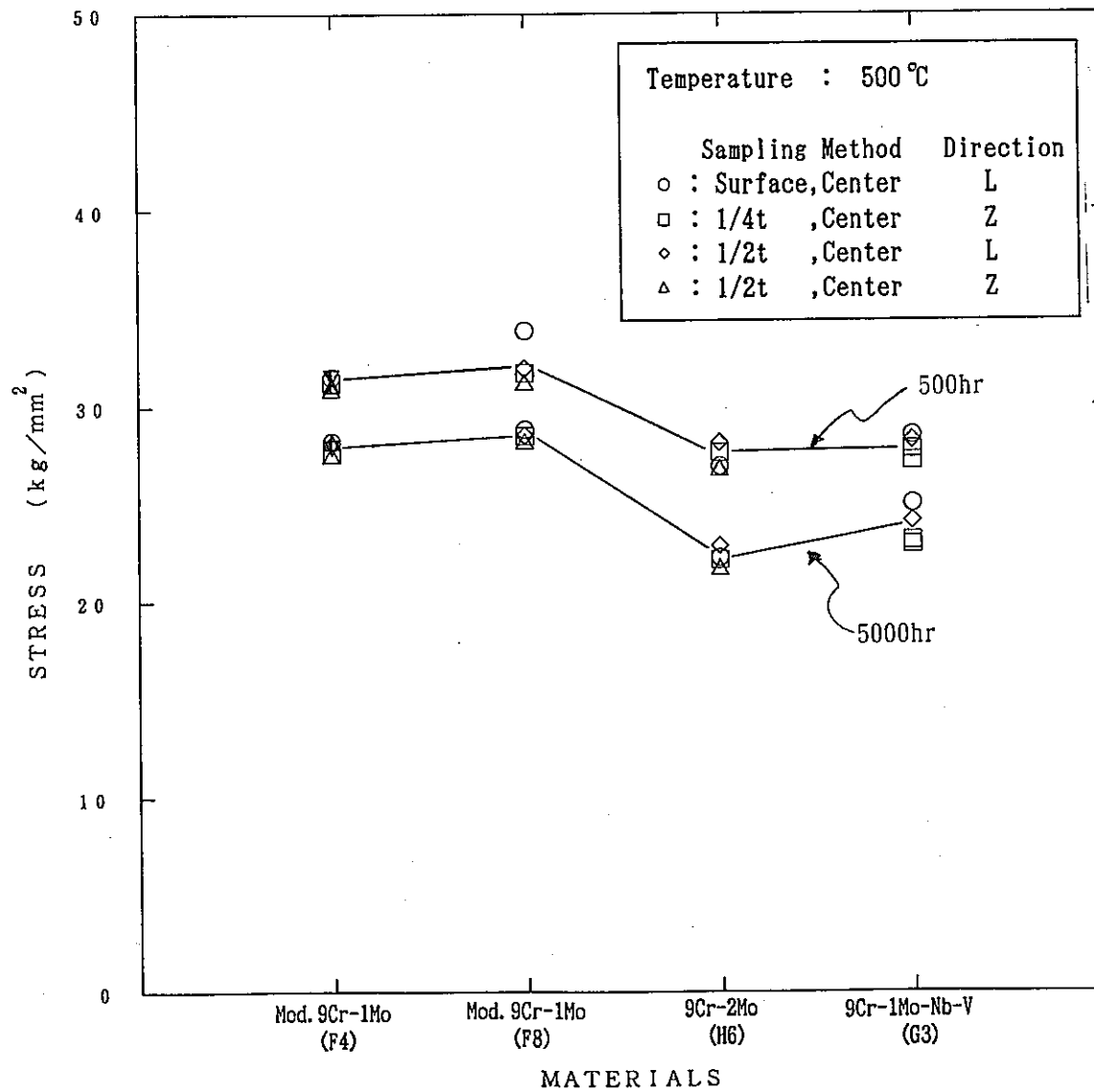


Fig.35 Comparison of Creep Strength for Various 9Cr-Mo Steels at 500°C.

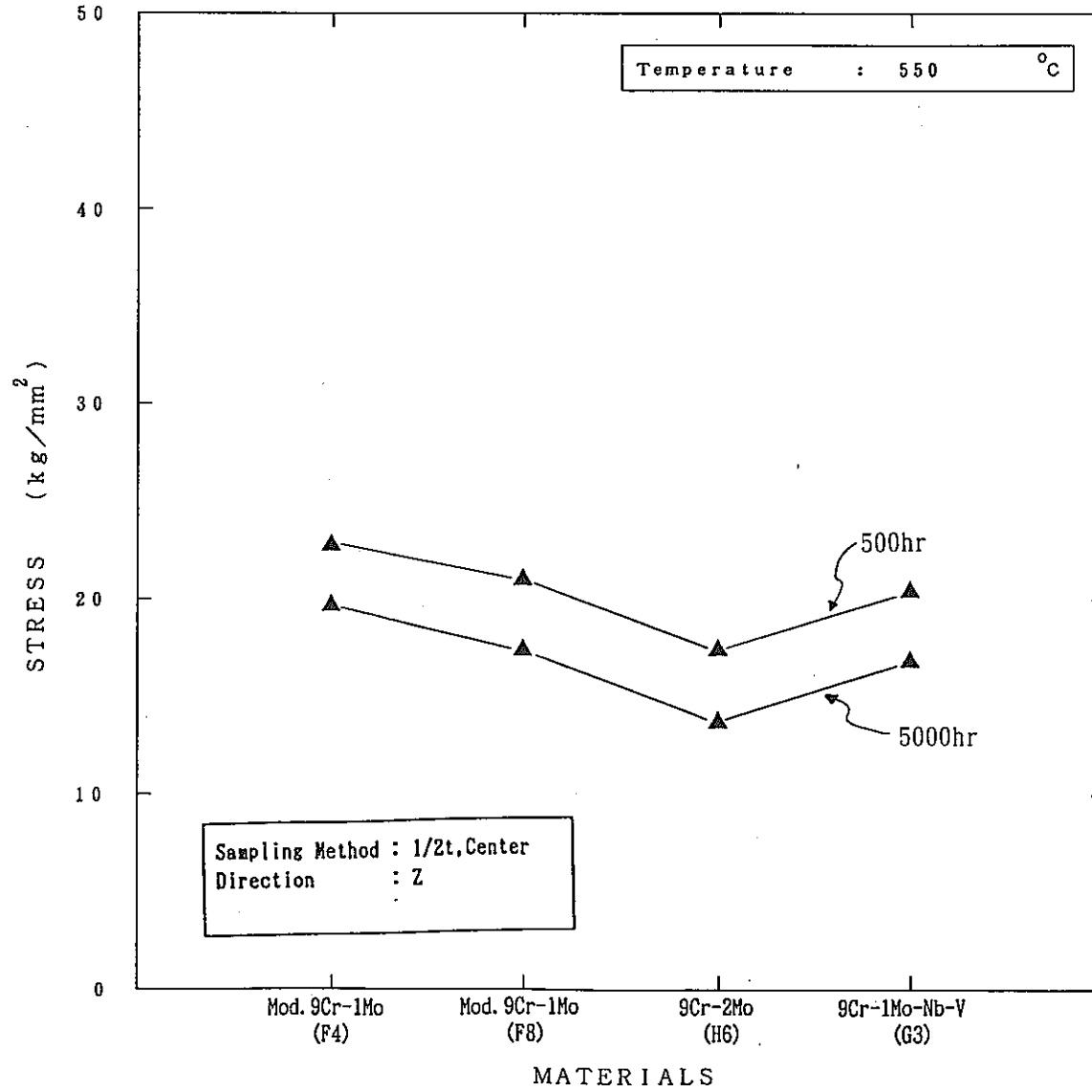


Fig. 36 Comparison of Creep Strength for Various 9Cr-Mo Steels at 550°C.

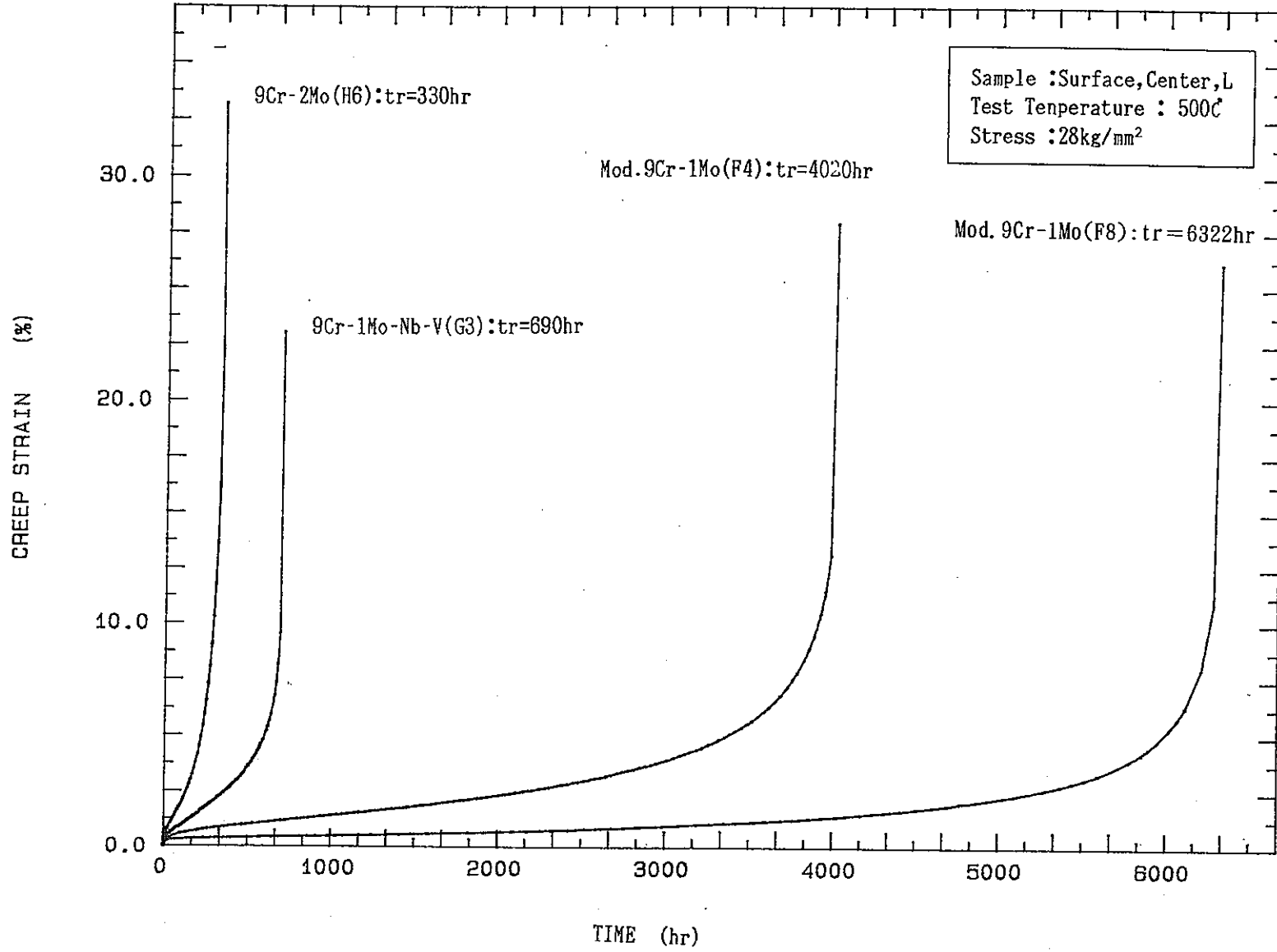


Fig. 37 Comparison of Creep Curve for Various 9Cr-Mo Steel Forgings at same Stress.

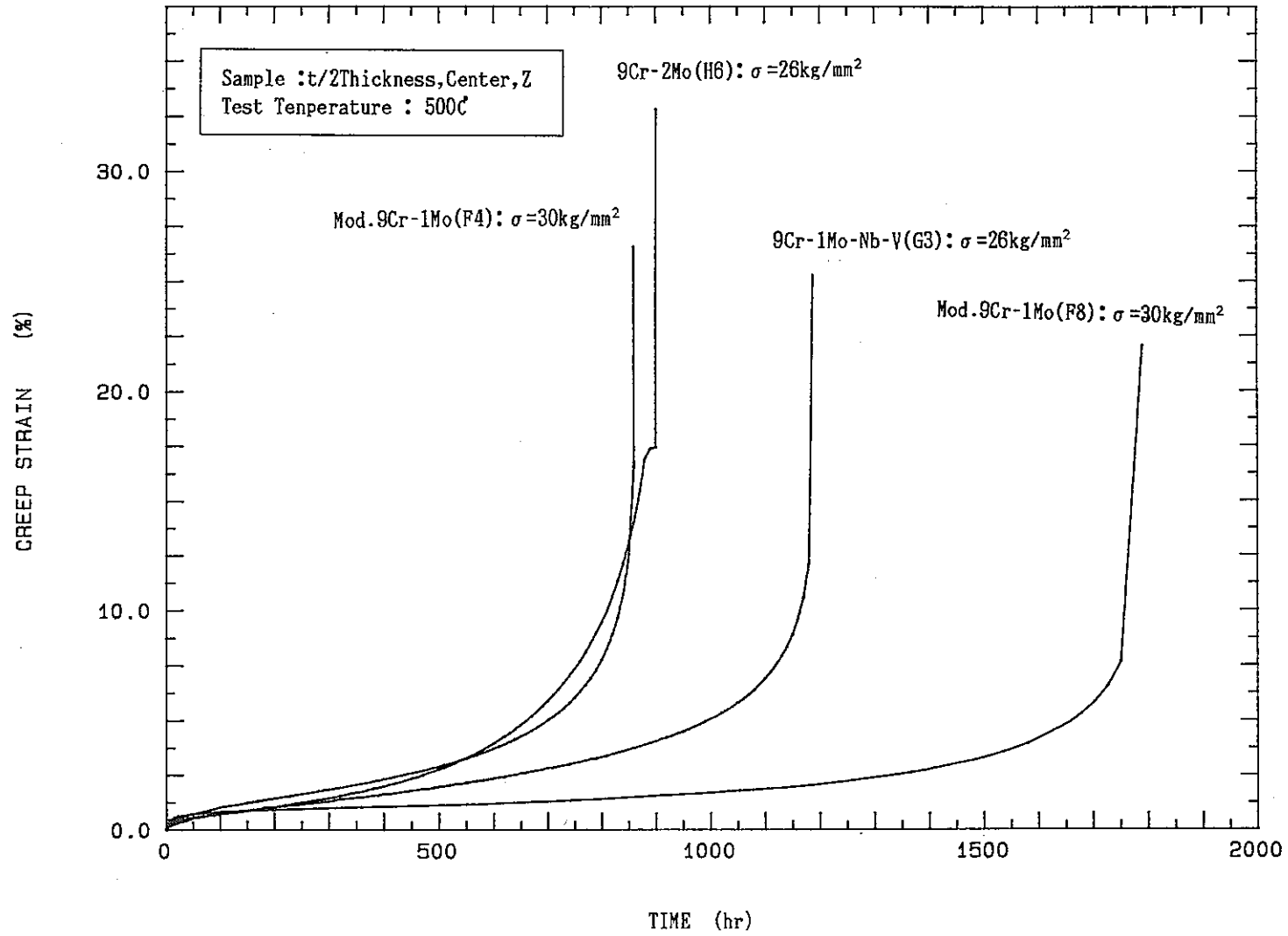


Fig.38 Comparison of Creep Curve for Various 9Cr-Mo Steel Forgings at Resemblance Rupture time.

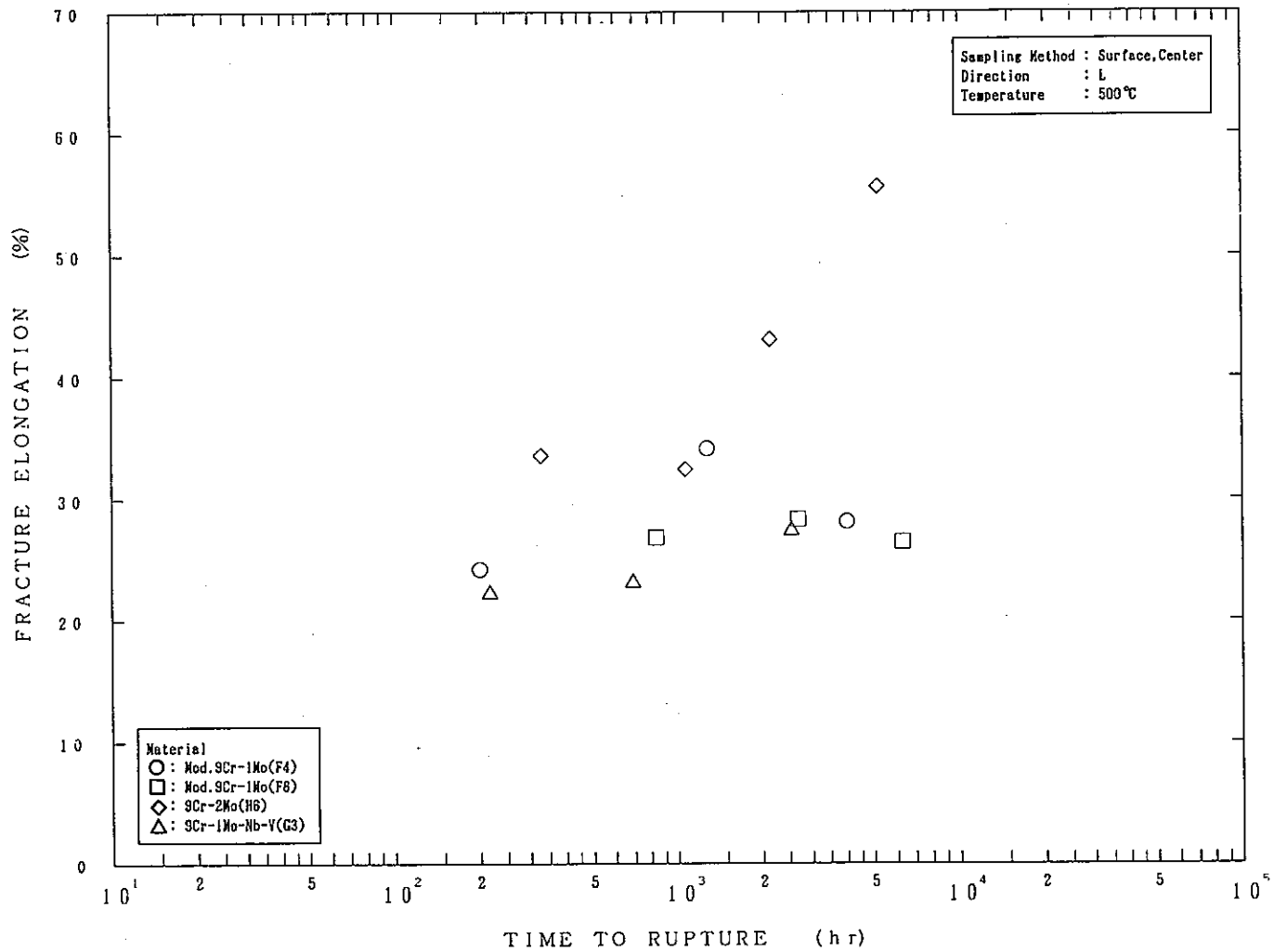


Fig. 39 Relation Between Fracture Elongation and Time to Rupture of Various Sampling Method of 9Cr-Mo Steel Forgings. (t/2Thickness, Center, Direction Z)

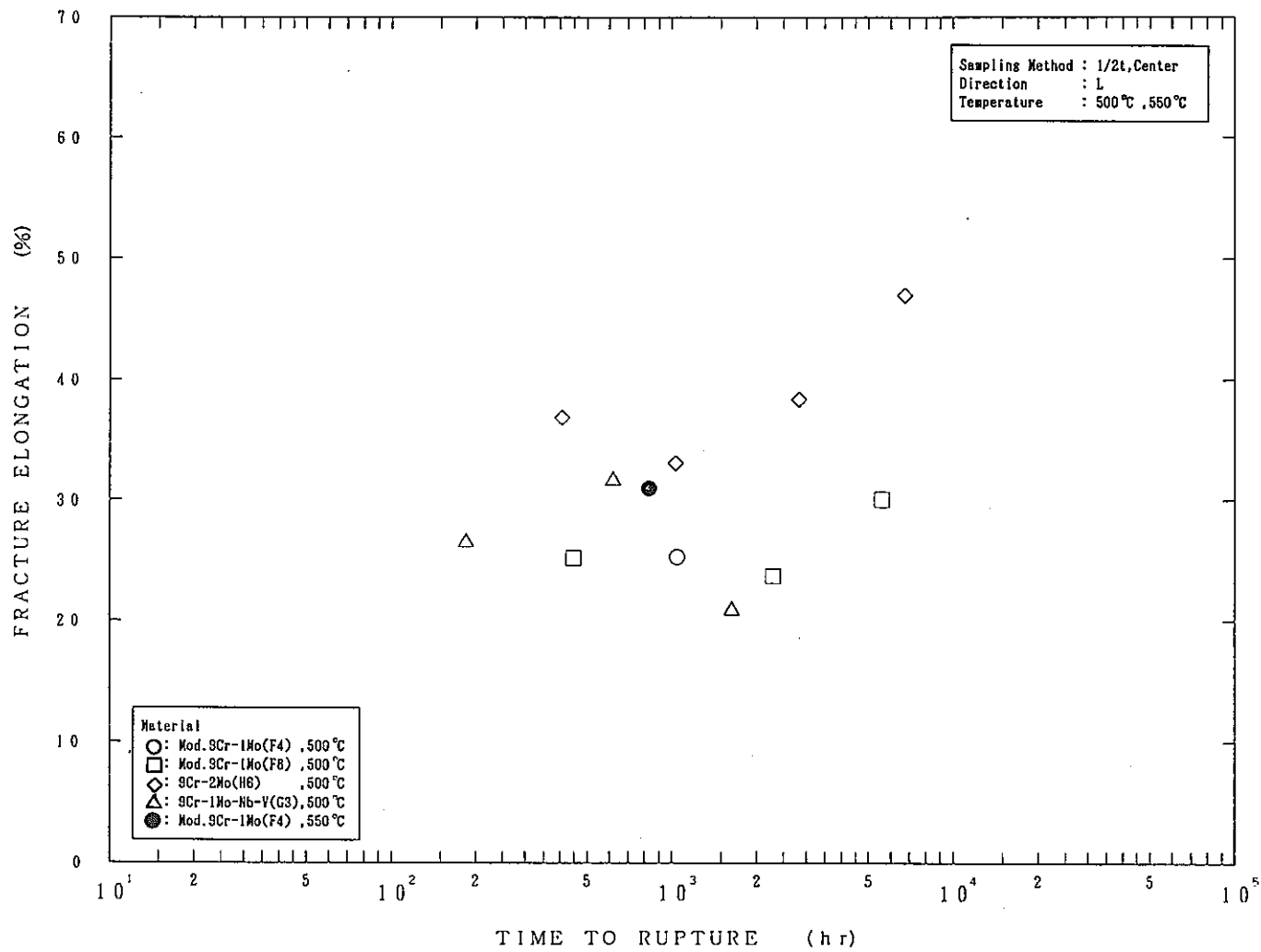


Fig. 40 Relation Between Fracture Elongation and Time to Rupture of Various Sampling Method of 9Cr-Mo Steel Forgings. (t/4Thickness, Center, Direction L)

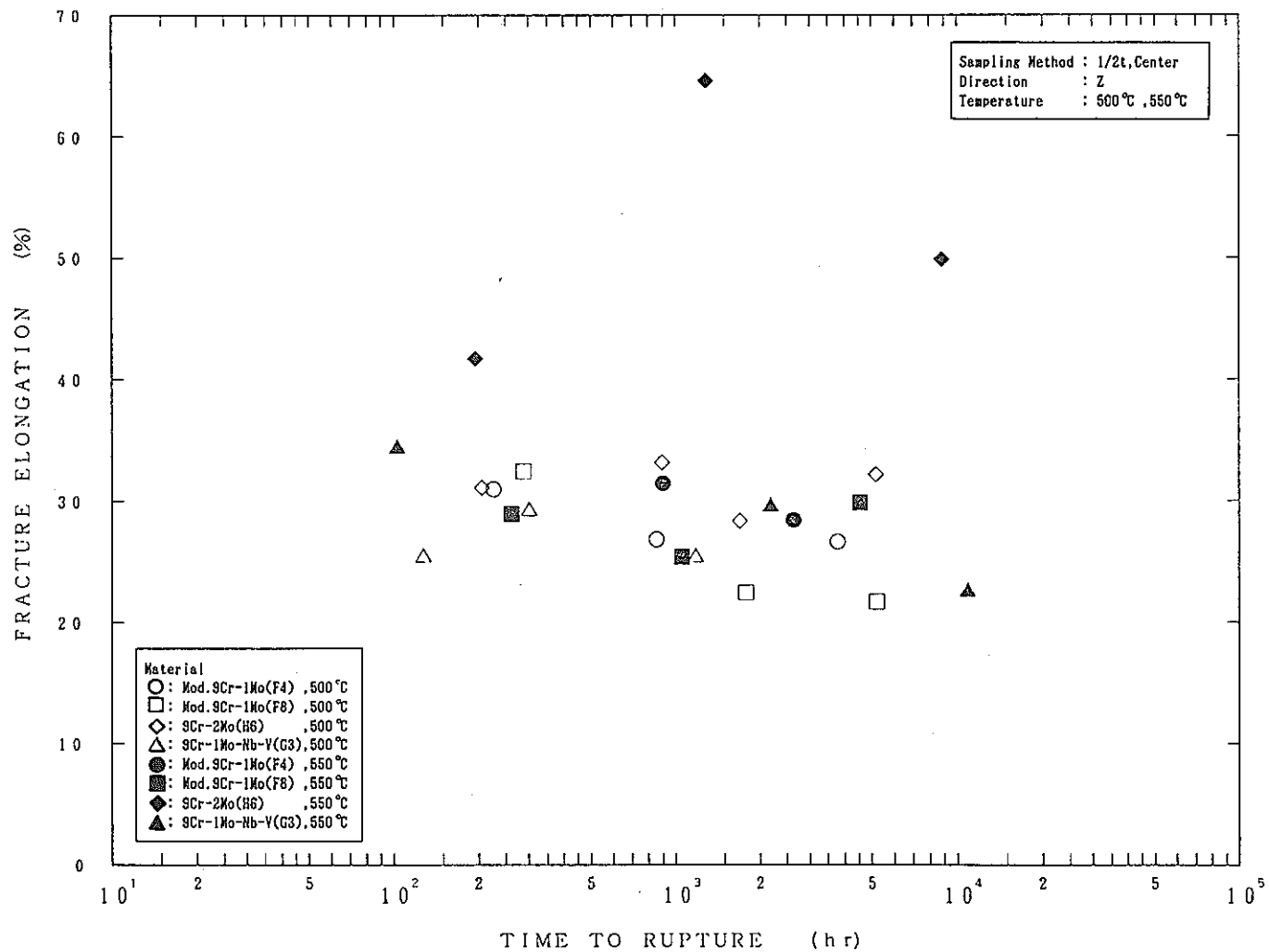


Fig. 41 Relation Between Reduction of Area and Time to Rupture of Various Sampling Method for 9Cr-Mo Steel Forgings, (Surface, Center, Direction L)

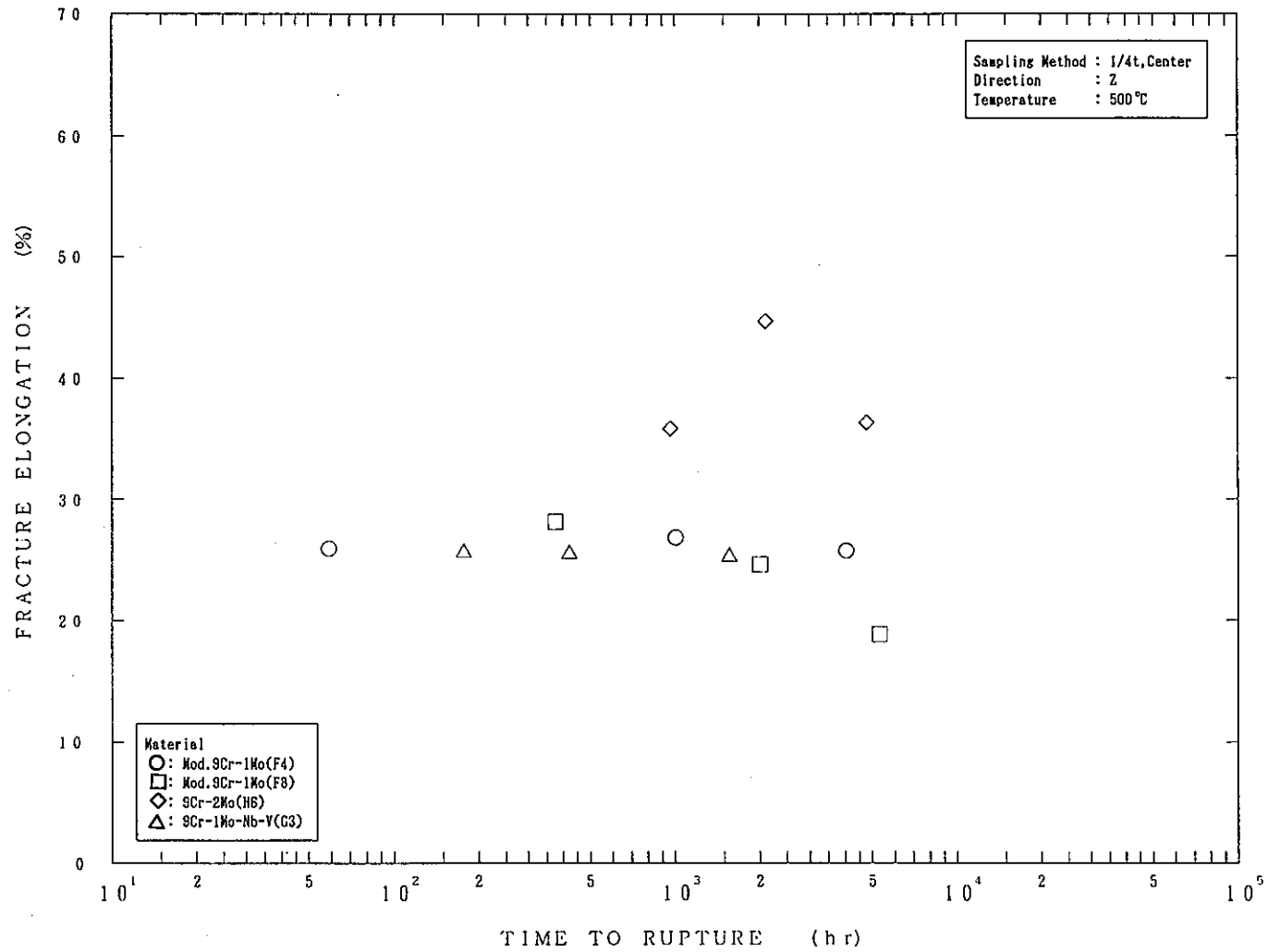


Fig. 42 Relation Between Reduction of Area and Time to Rupture of Various Sampling Method for 9Cr-Mo Steel Forgings. (t/2Thickness, Center, Direction L)

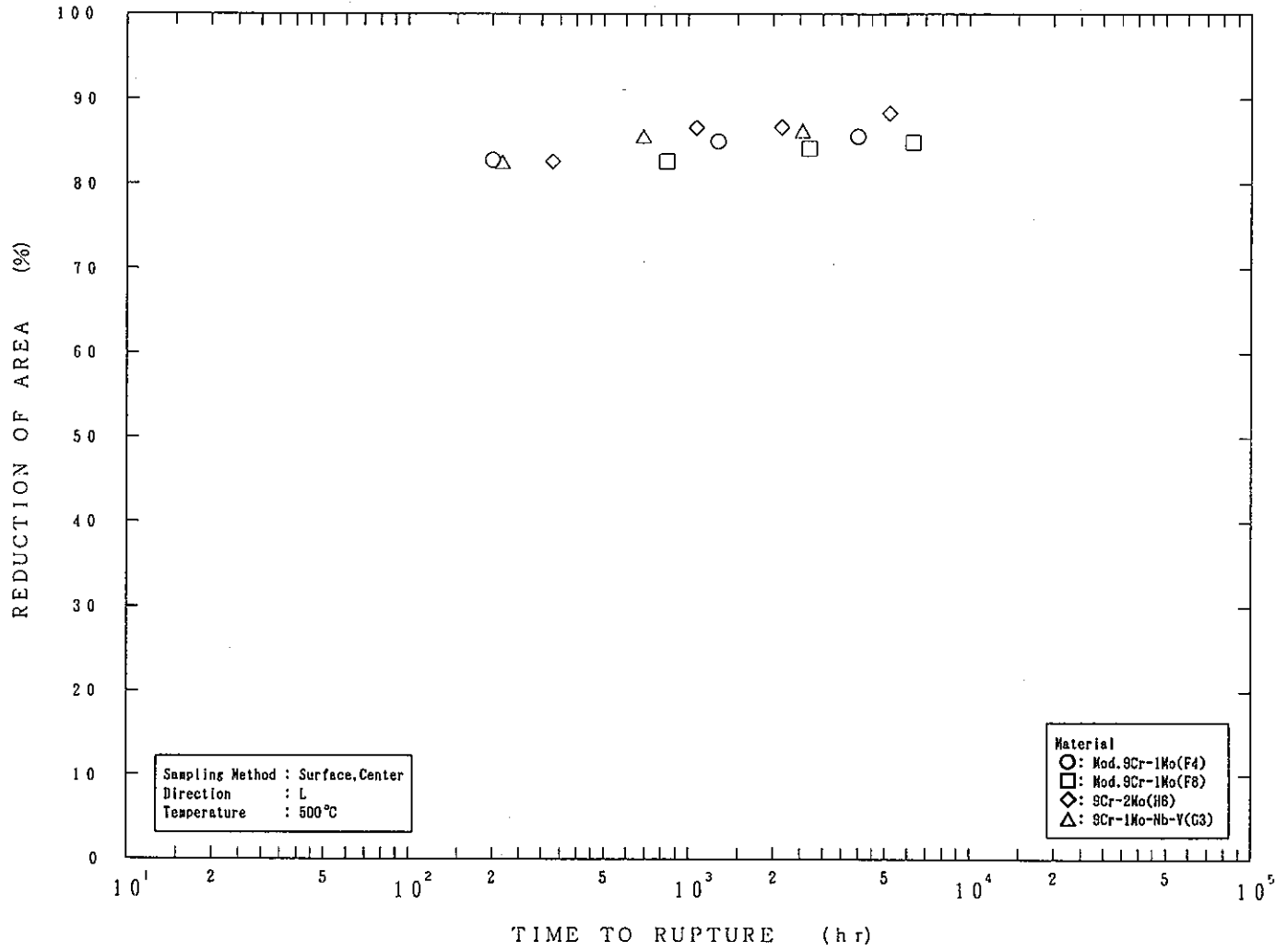


Fig. 43 Relation Between Reduction of Area and Time to Rupture of Various Sampling Method for 9Cr-Mo Steel Forgings. (t/2Thickness, Center, Direction Z)

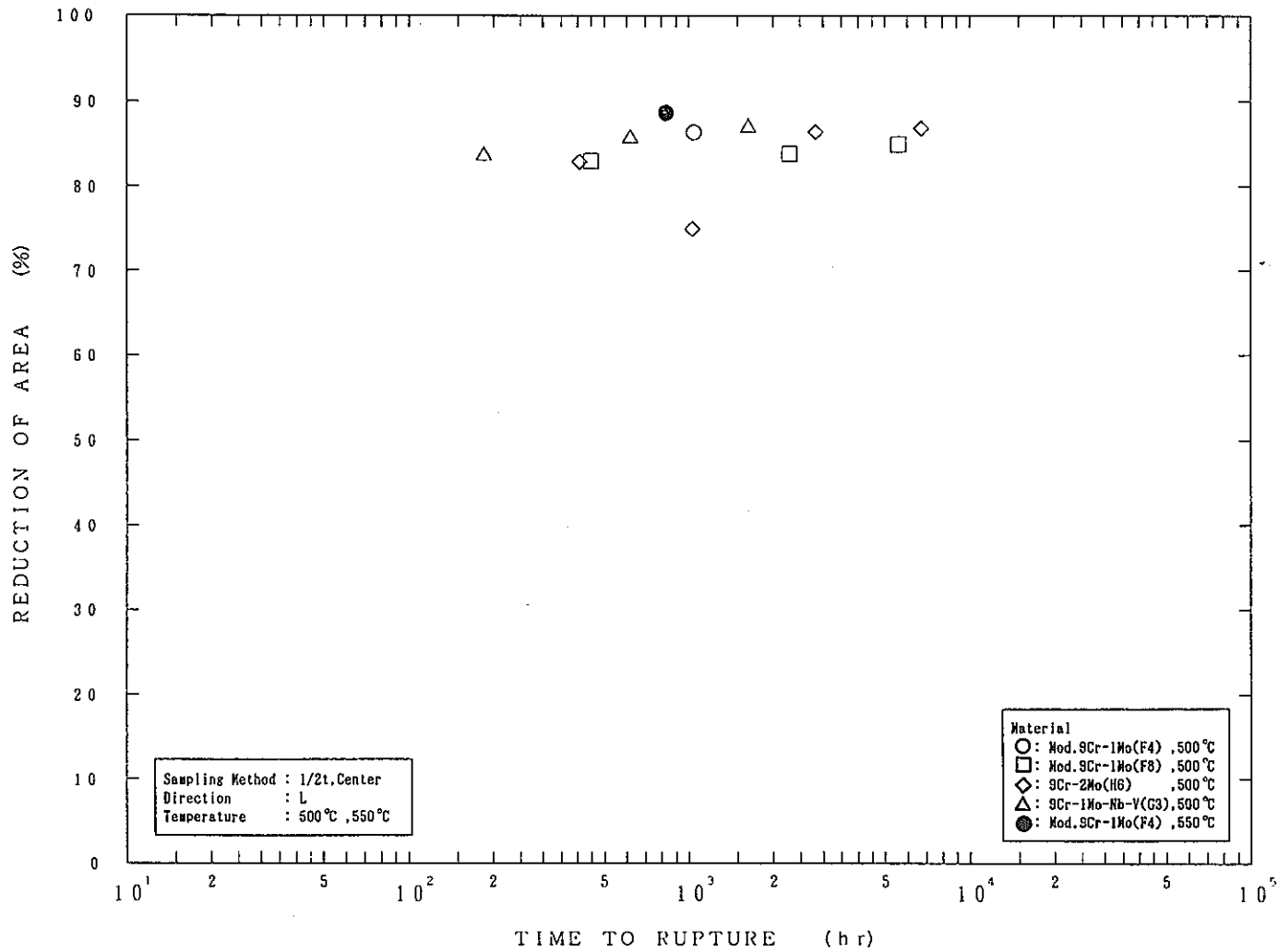


Fig. 44 Relation Between Reduction of Area and Time to Rupture of Various Sampling Method for 9Cr-Mo Steel Forgings. (t/4Thickness, Center, Direction Z)

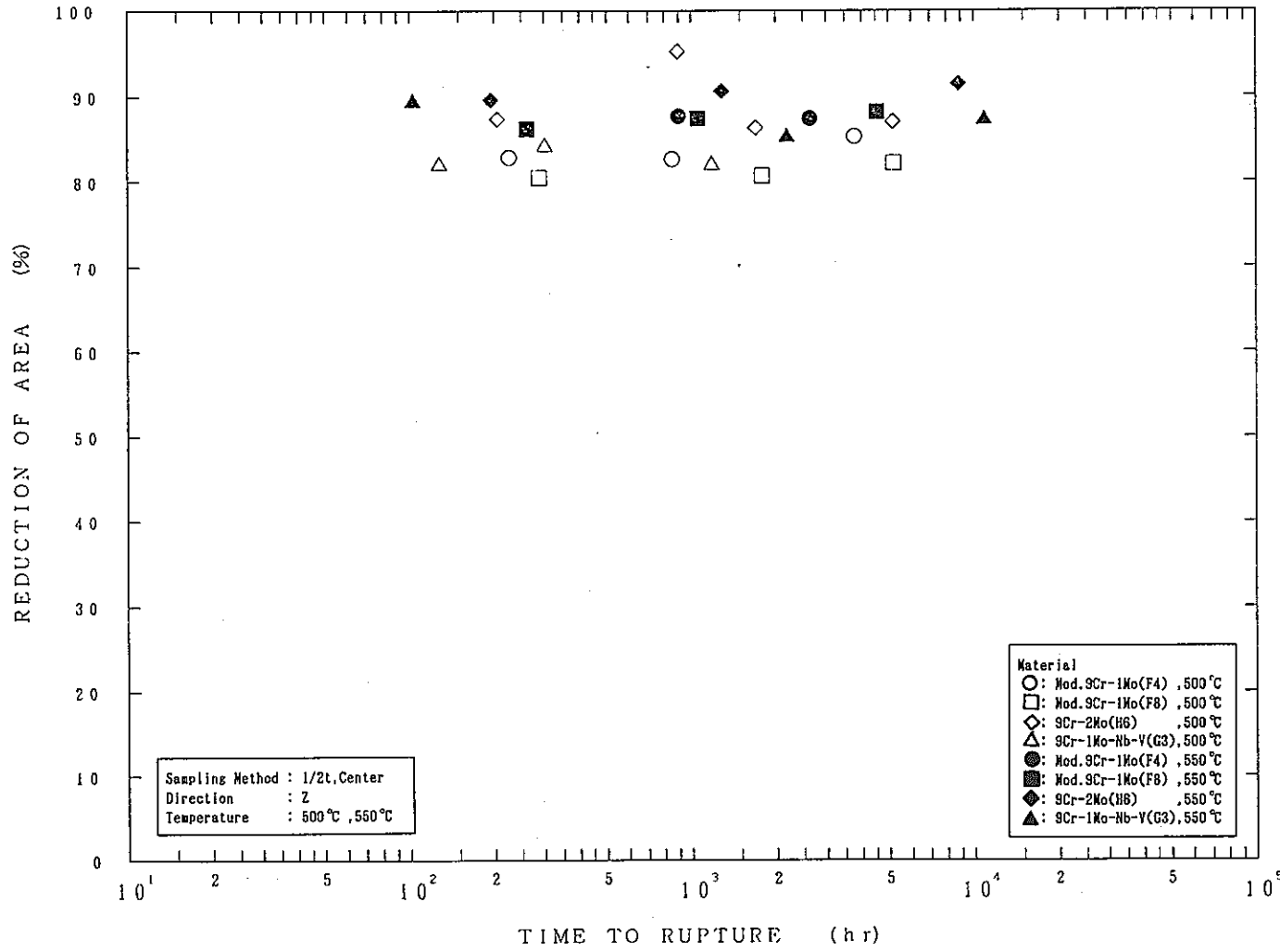


Fig. 45 Steady Creep Rate of Various Sampling Method for 9Cr-Mo Steel Forgings.
(Surface, Center, Direction L)

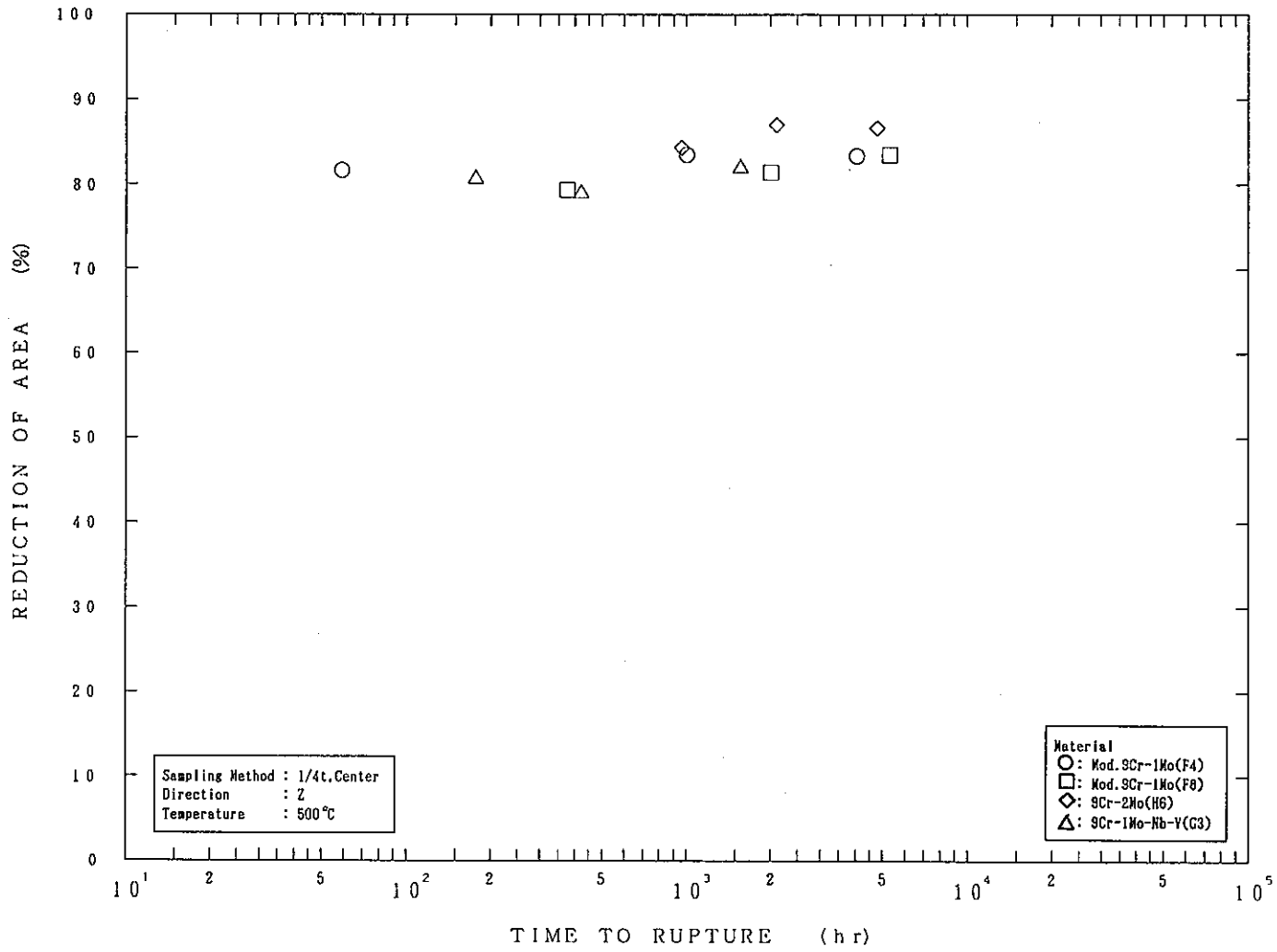


Fig.46 Steady Creep Rate of Various Sampling Method for 9Cr-Mo Steel Forgings.
(t/2Thickness, Center, Direction L)

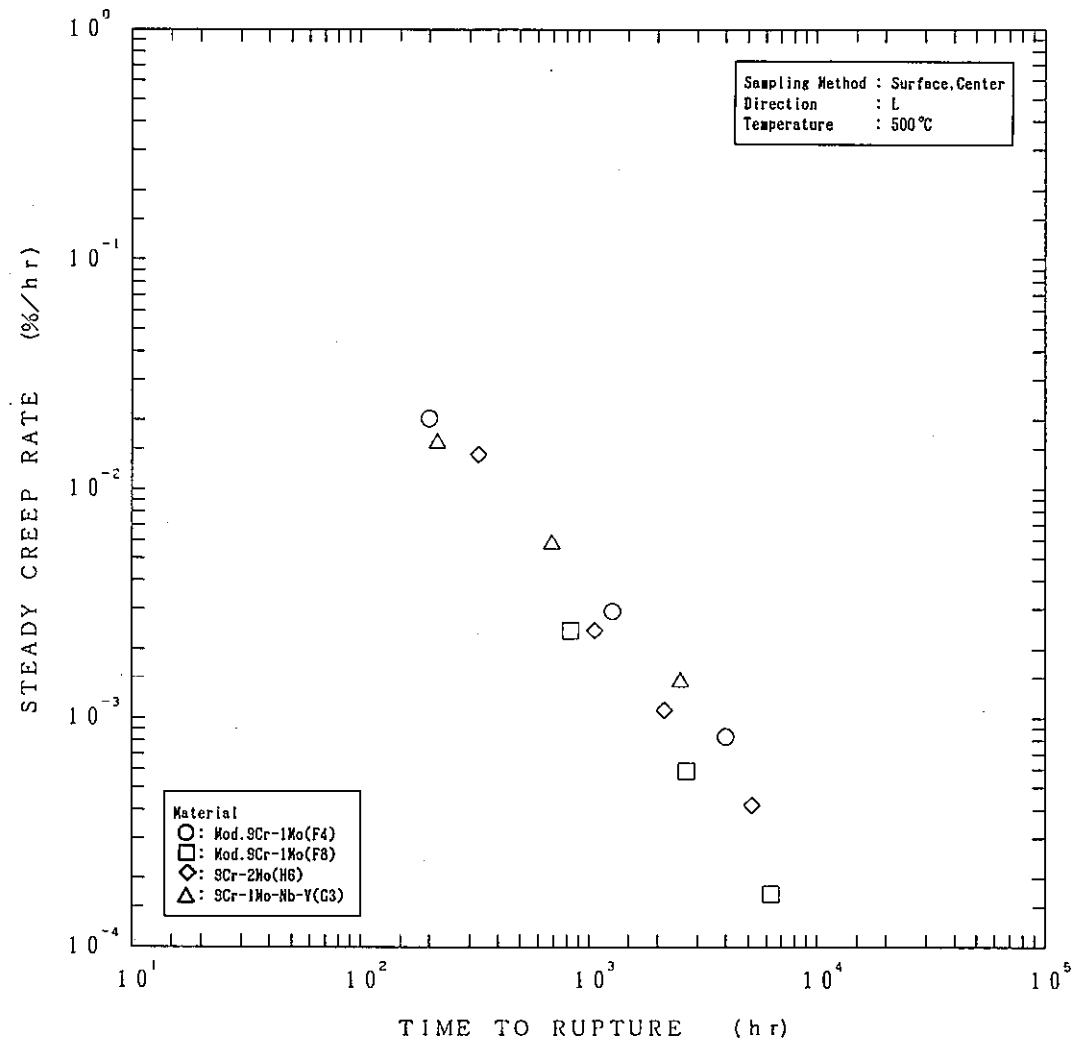


Fig. 47 Steady Creep Rate of Various Sampling Method for 9Cr-Mo Steel Forgings.
 (t/2Thickness, Center, Direction Z)

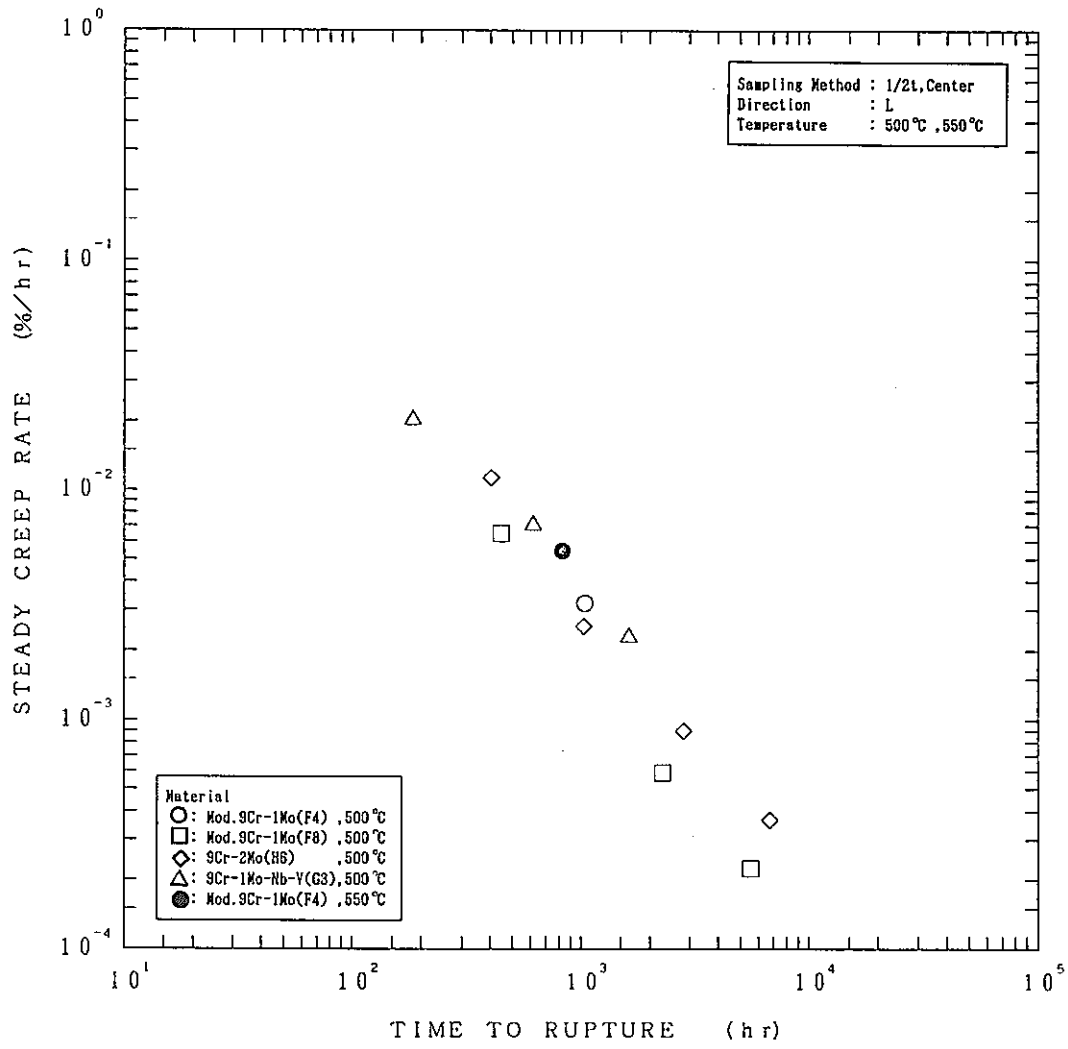


Fig. 48 Steady Creep Rate of Various Sampling Method for 9Cr-Mo Steel Forgings.
 (t/2Thickness, Center, Direction Z)

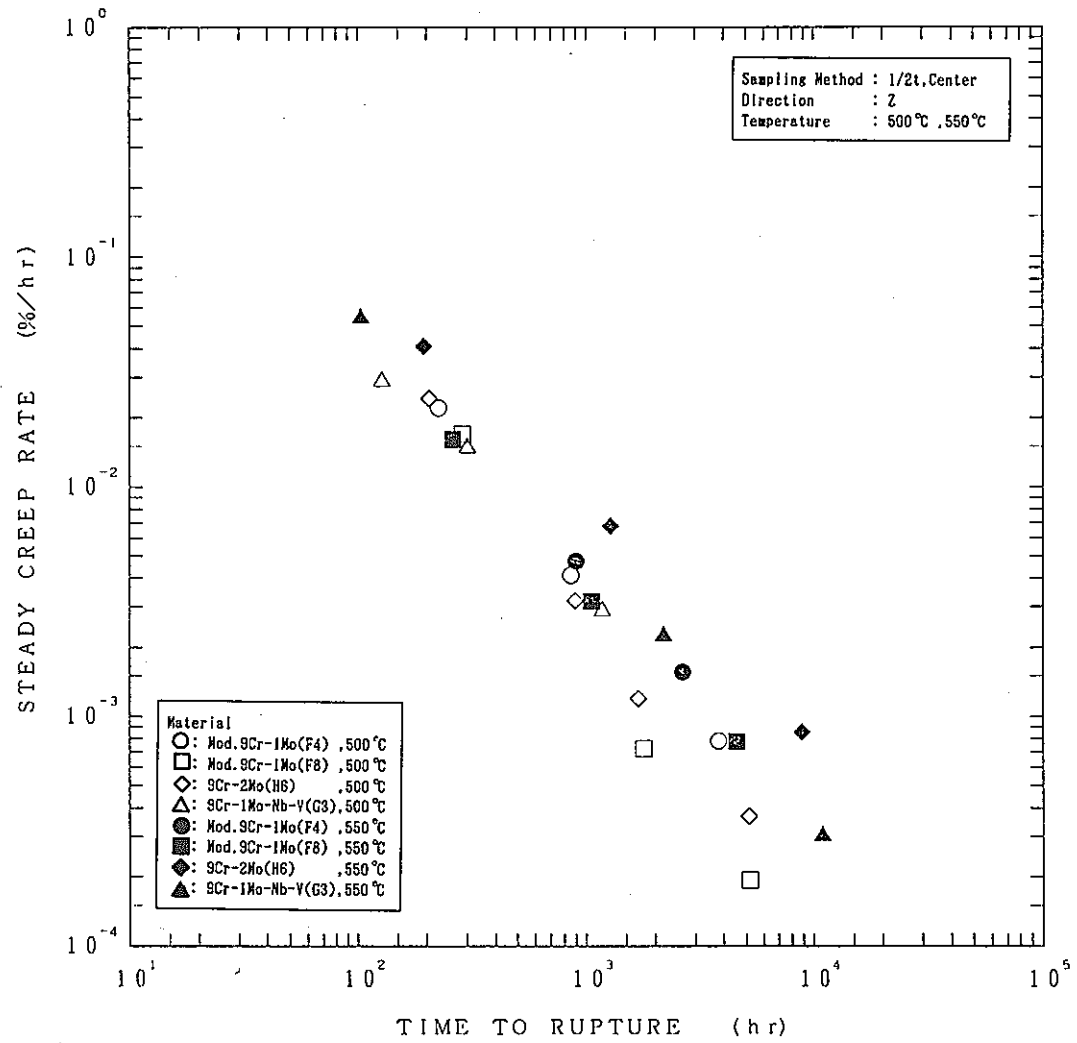


Fig. 49 Relation Between Steady Creep Rate and Time to Rupture for Various Sampling Method of 9Cr-Mo Steel Forgings. (Surface, Center, Direction L)

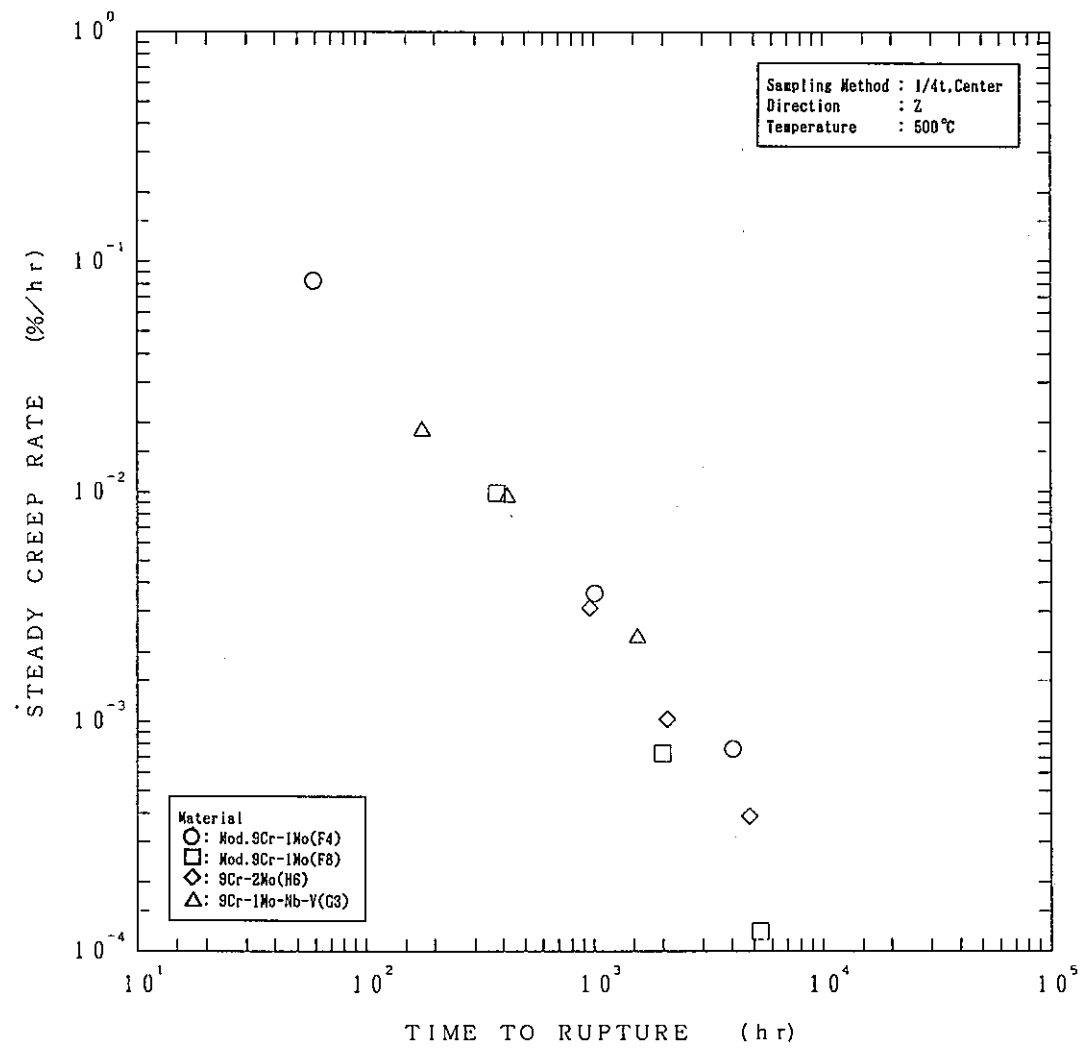


Fig. 50 Relation Between Steady Creep Rate and Time to Rupture for Various Sampling Method of 9Cr-Mo Steel Forgings. (t/2Thickness, Center, Direction L)

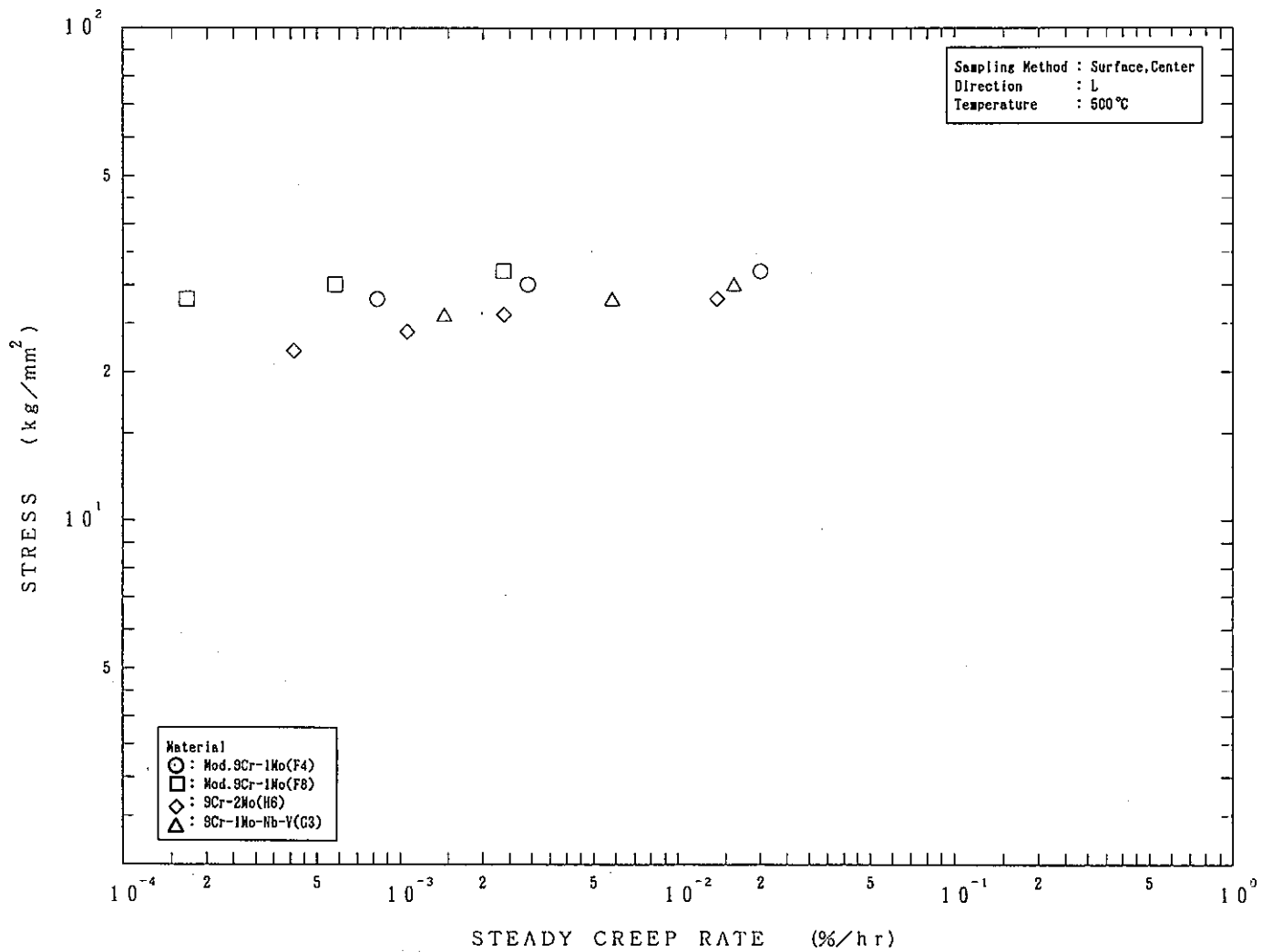


Fig. 51 Relation Between Steady Creep Rate and Time to Rupture for Various Sampling Method of 9Cr-Mo Steel Forgings. (t/2Thickness, Center, Direction Z)

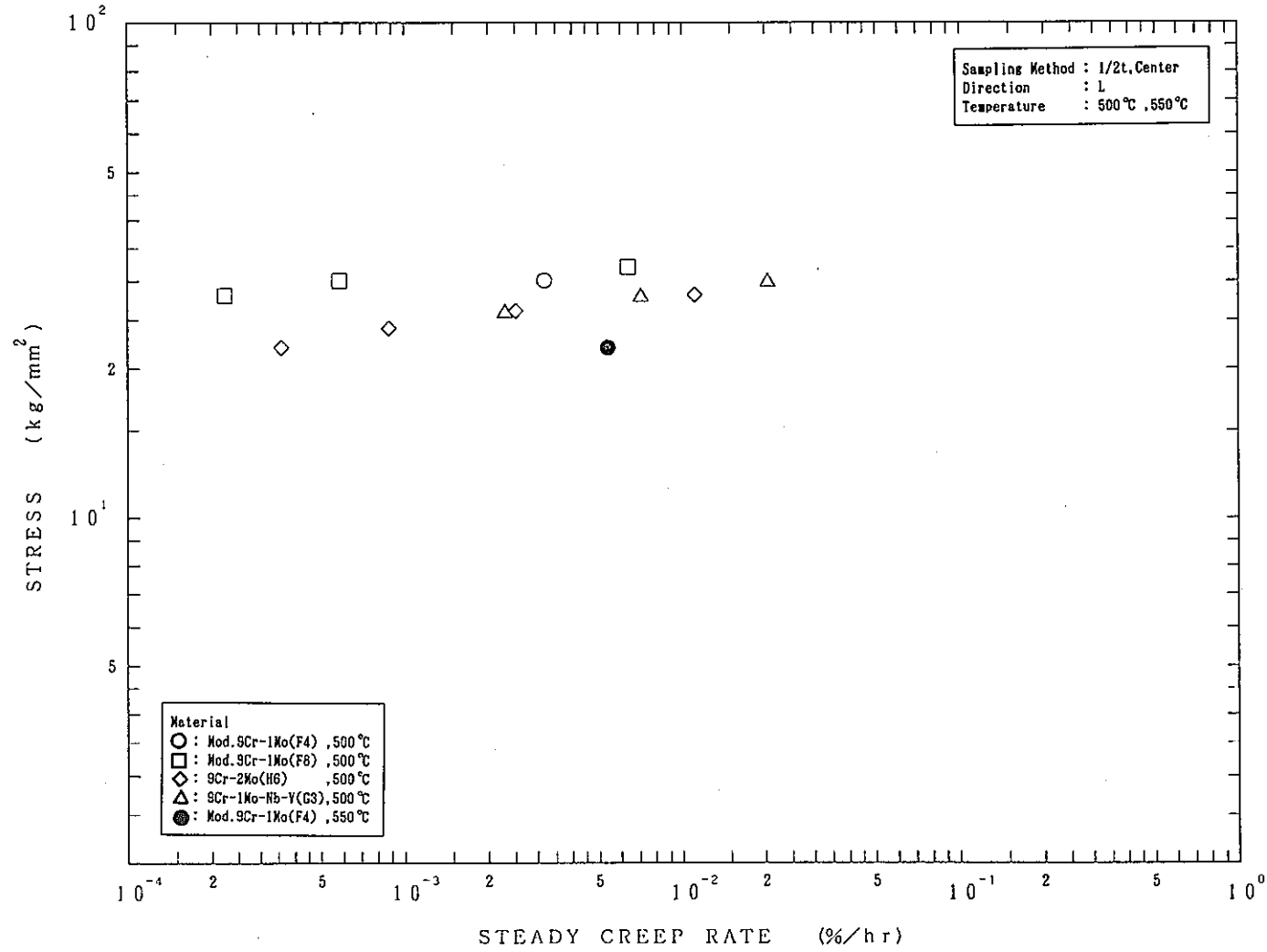


Fig.52 Relation Between Steady Creep Rate and Time to Rupture for Various Sampling Method of 9Cr-Mo Steel Forgings. (t/4Thickness, Center, Direction Z)

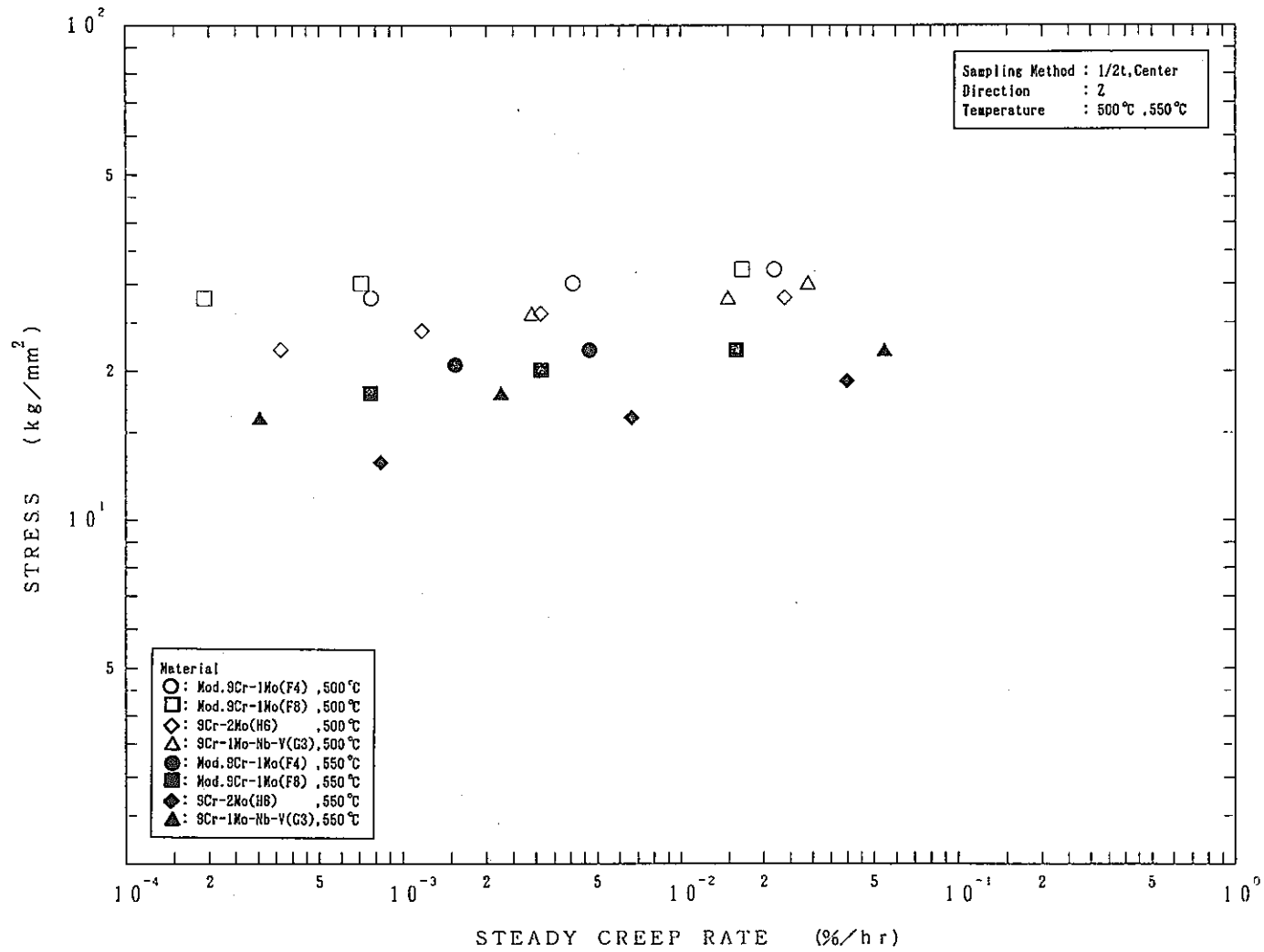


Fig. 53 Time to Tertiary Creep for Various Sampling Method of 9Cr-Mo Steel Forgings.
(Surface, Center, Direction L)

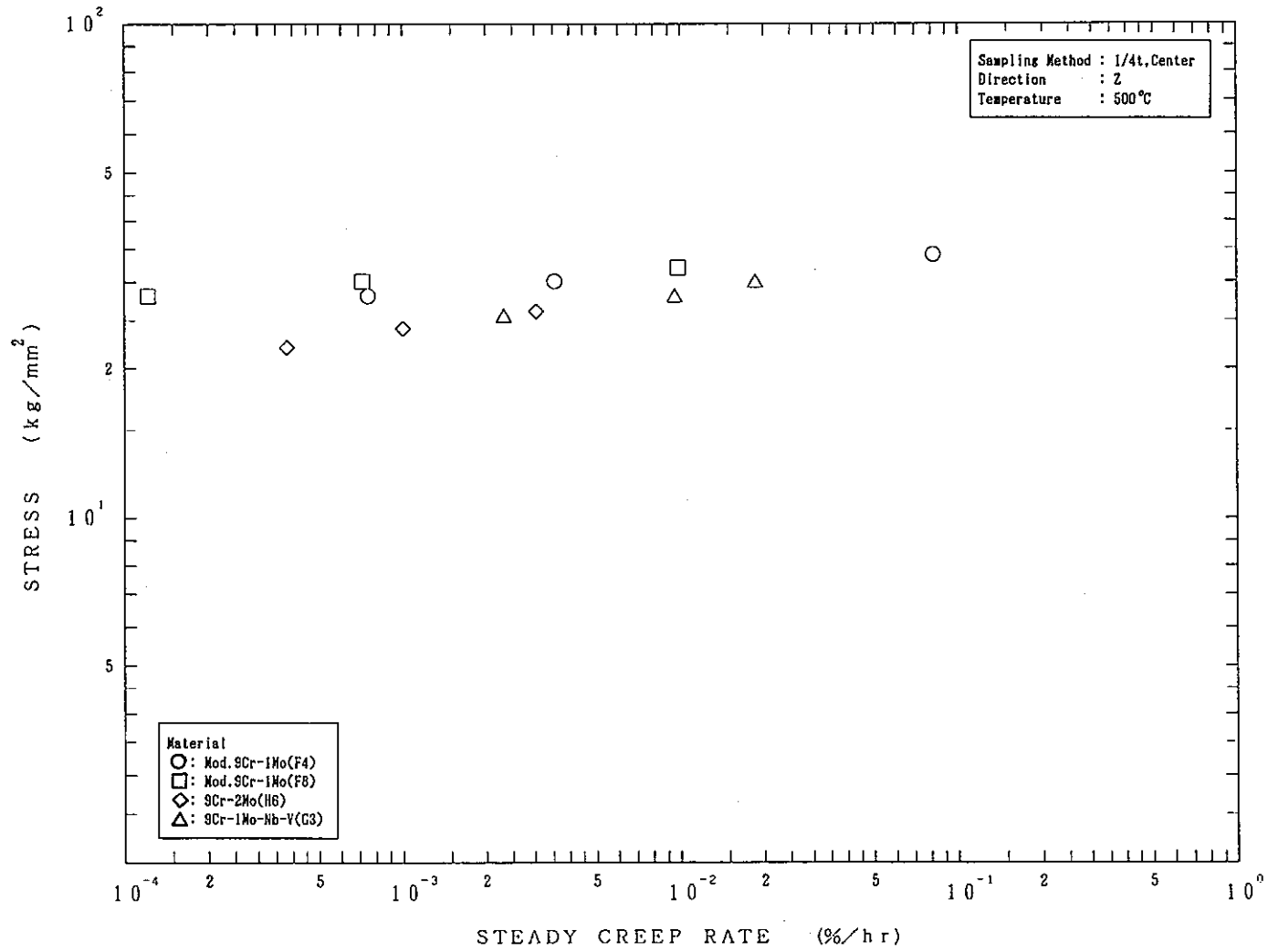


Fig. 54 Time to Tertiary Creep for Various Sampling Method of 9Cr-Mo Steel Forgings.
(t/2Thickness, Center, Direction L)

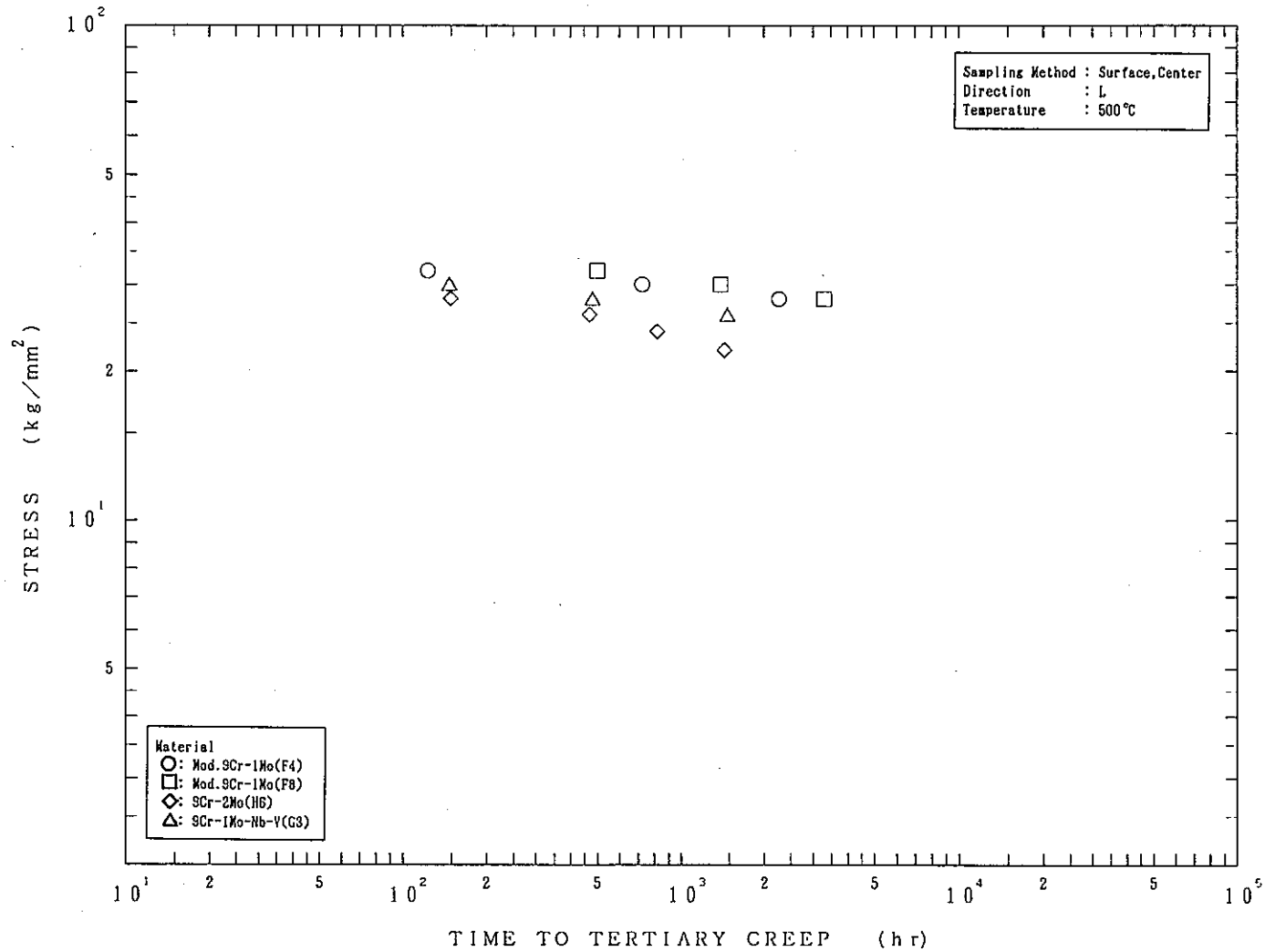


Fig. 55 Time to Tertiary Creep for Various Sampling Method of 9Cr-Mo Steel Forgings.
(t/2Thickness, Center, Direction Z)

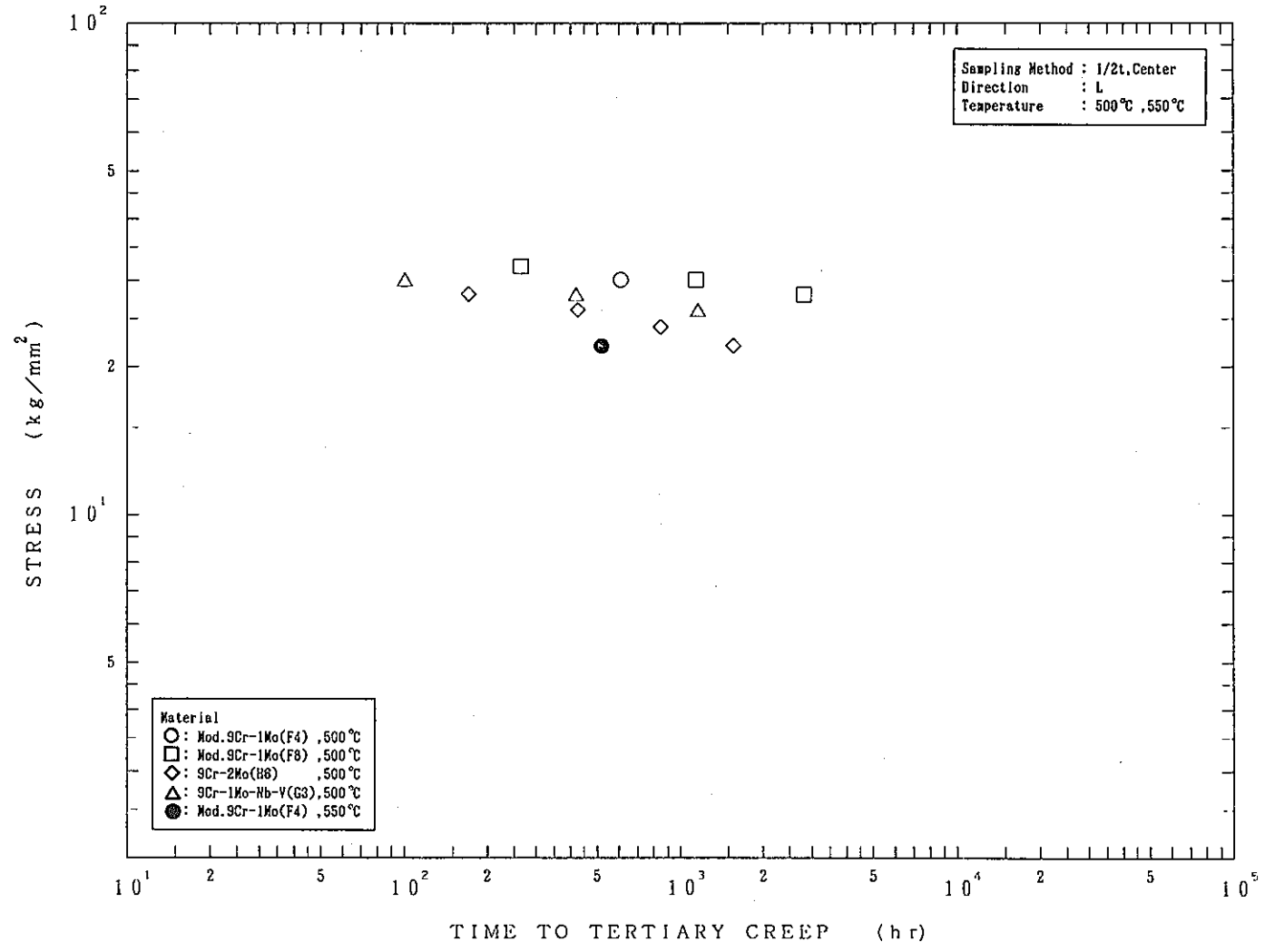


Fig.56 Time to Tertiary Creep for Various Sampling Method of 9Cr-Mo Steel Forgings.
(t/2Thickness, Center, Direction Z)

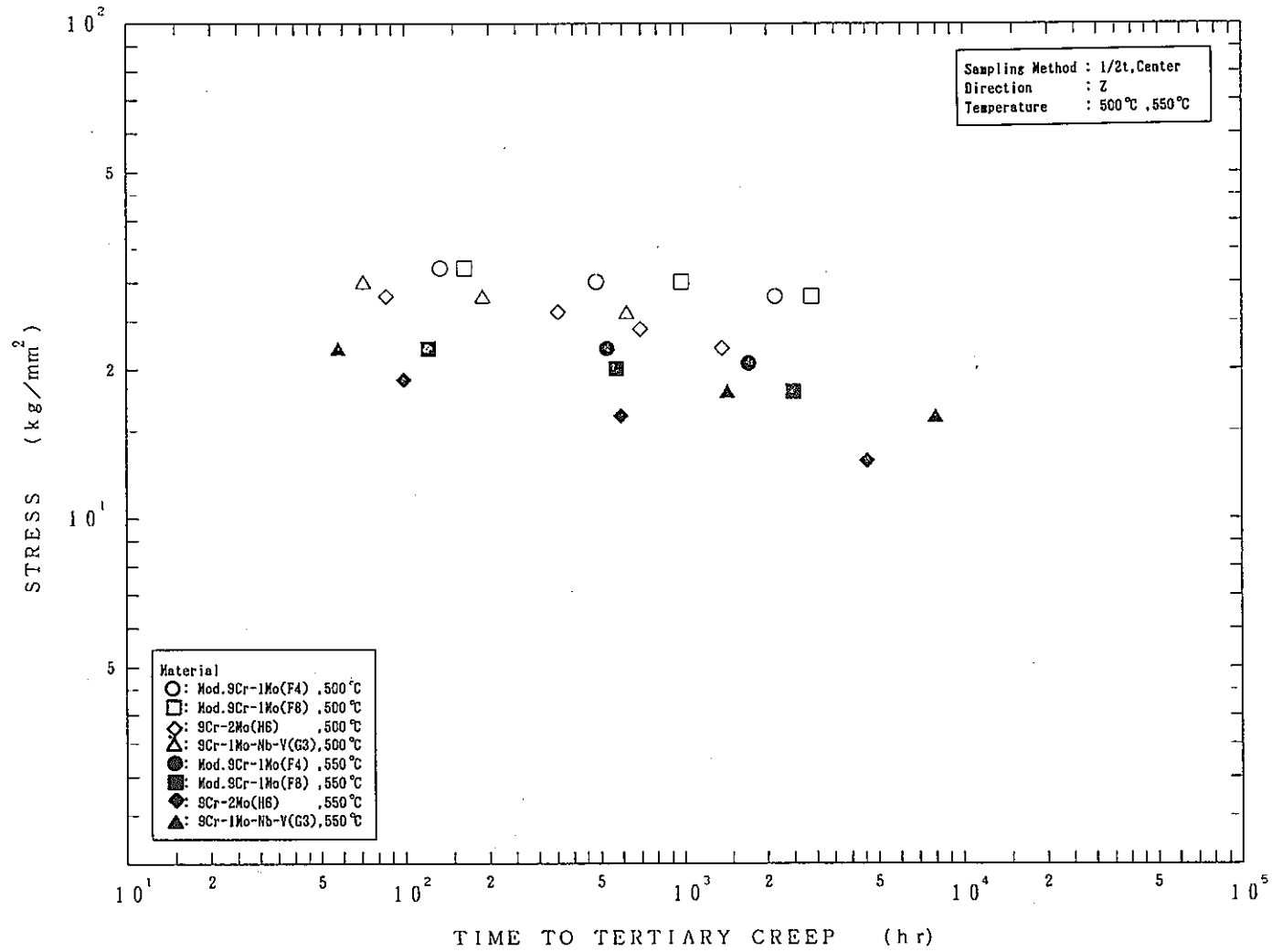


Fig. 57 Relation Between Time to Tertiary Creep and Time to Rupture for Various Sampling Method of 9Cr-1Mo Steel Forgings. (Surface, Center, Direction L)

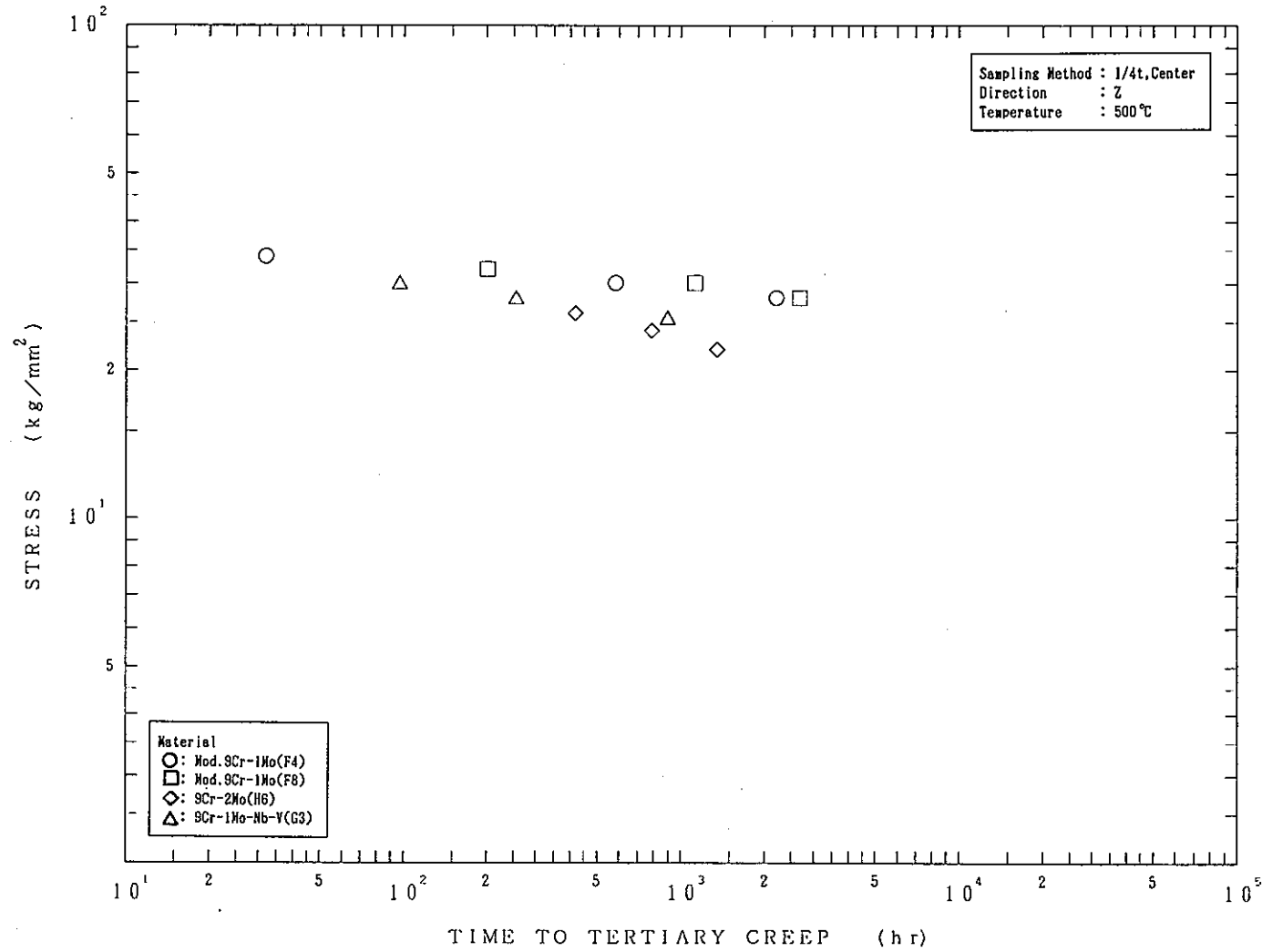


Fig. 58 Relation Between Time to Tertiary Creep and Time to Rupture for Various Sampling Method of 9Cr-1Mo Steel Forgings. (t/2Thickness, Center, Direction L)

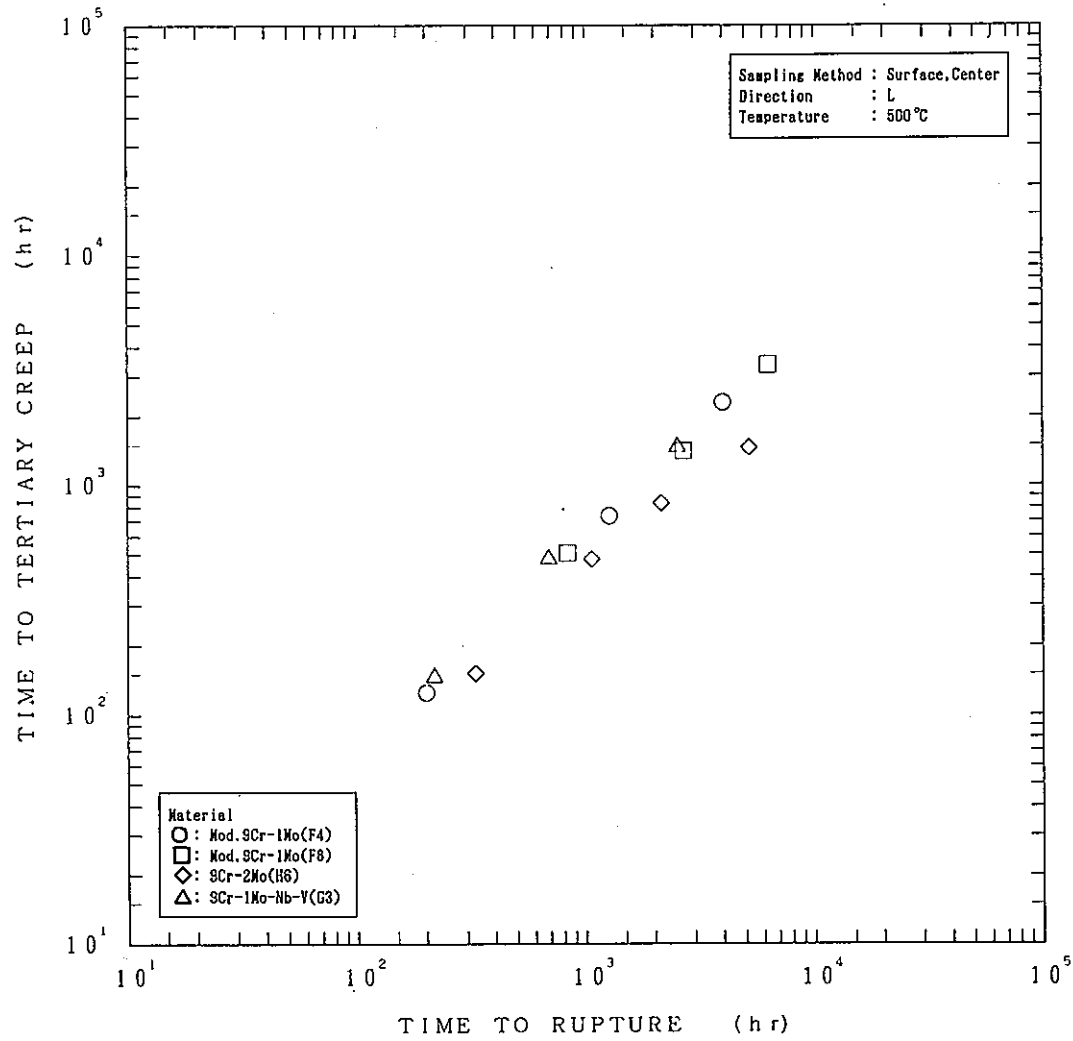


Fig.59 Relation Between Time to Tertiary Creep and Time to Rupture for Various Sampling Method of 9Cr-1Mo Steel Forgings. (t/2Thickness, Center, Direction Z)

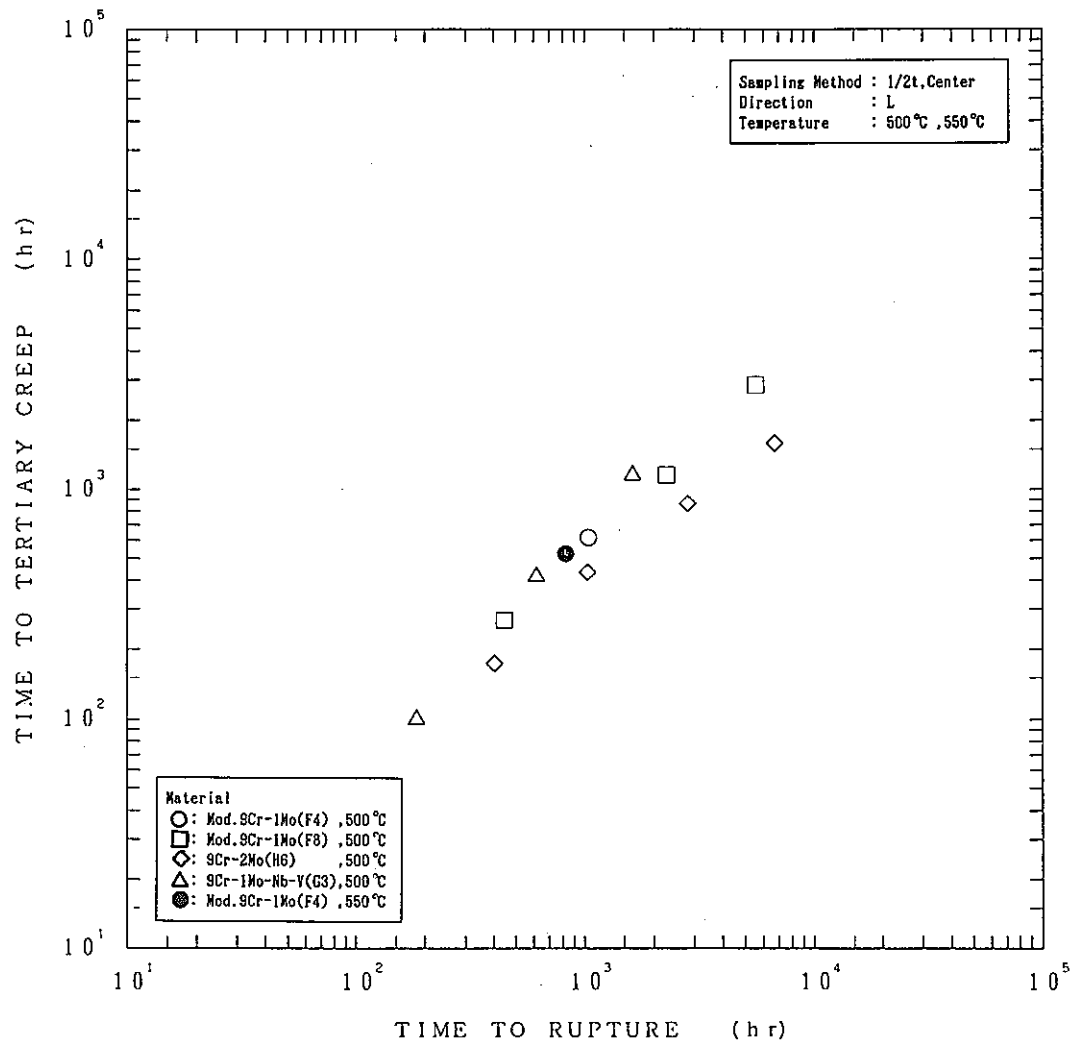


Fig. 60 Relation Between Time to Tertiary Creep and Time to Rupture for Various Sampling Method of 9Cr-1Mo Steel Forgings. (t/4Thickness, Center, Direction Z)

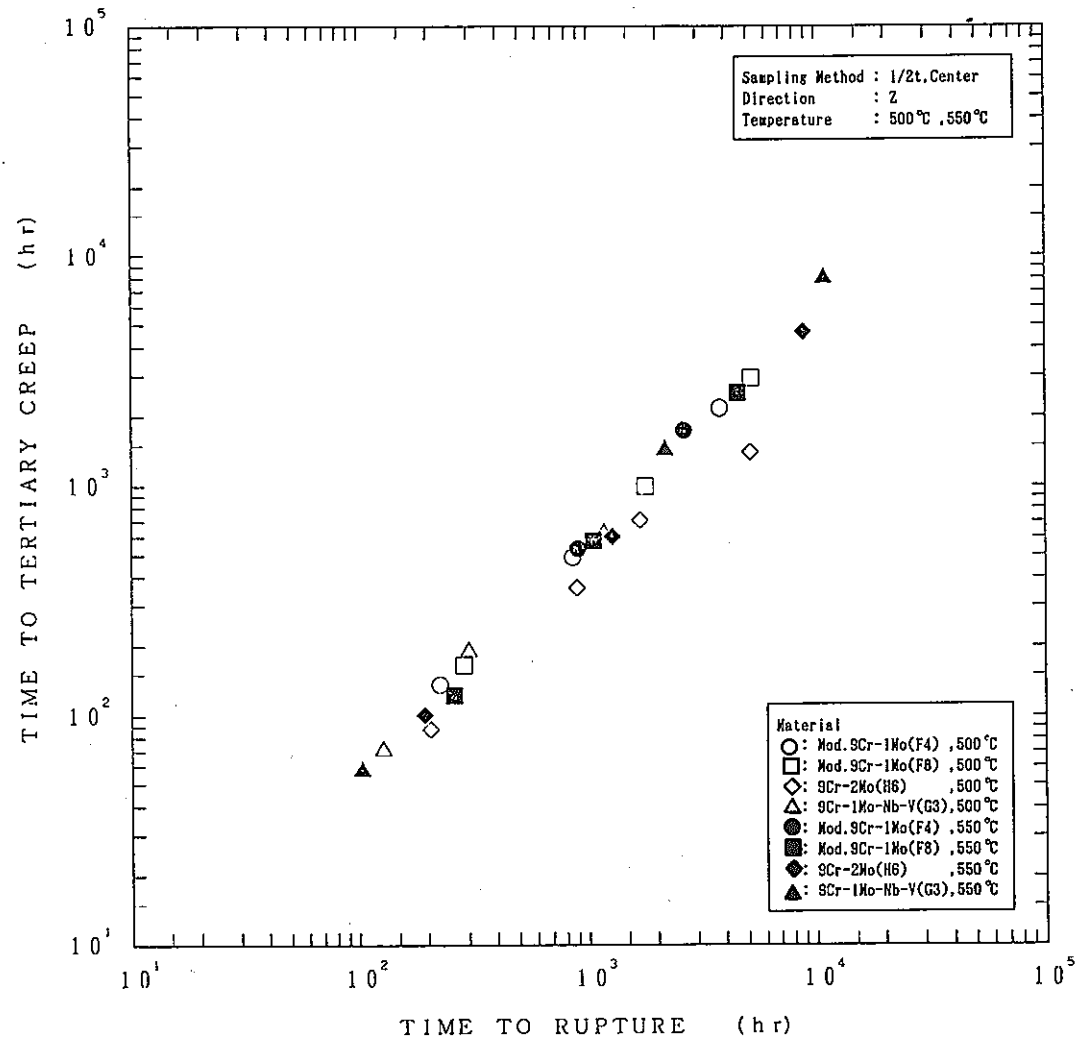


Fig.61 Comparison of Creep Curve for Various 9Cr-Mo Steel Forgings at same Stress.

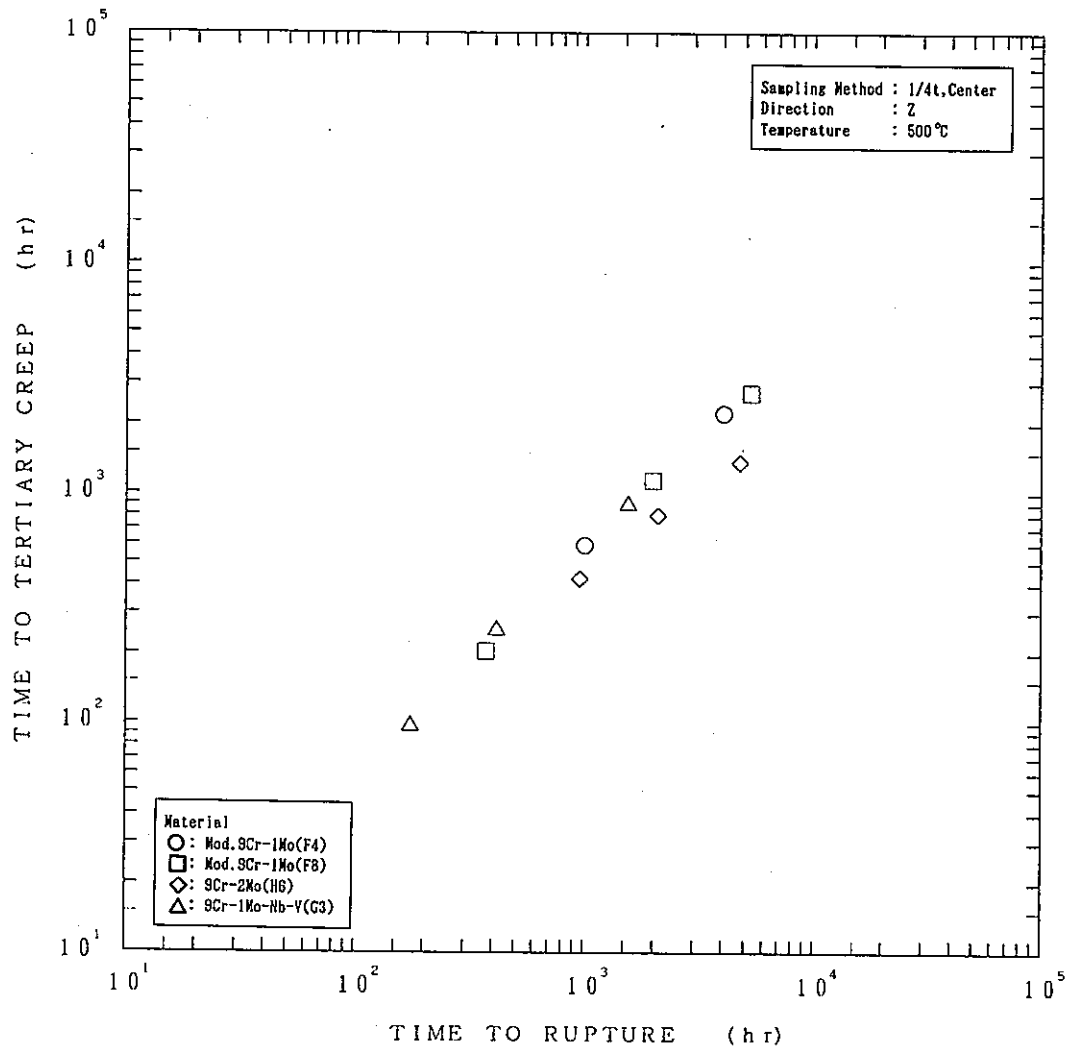


Fig.62 Comparison of Creep Curve for Various 9Cr-Mo Steel Forgings at Resemblance Rupture time.

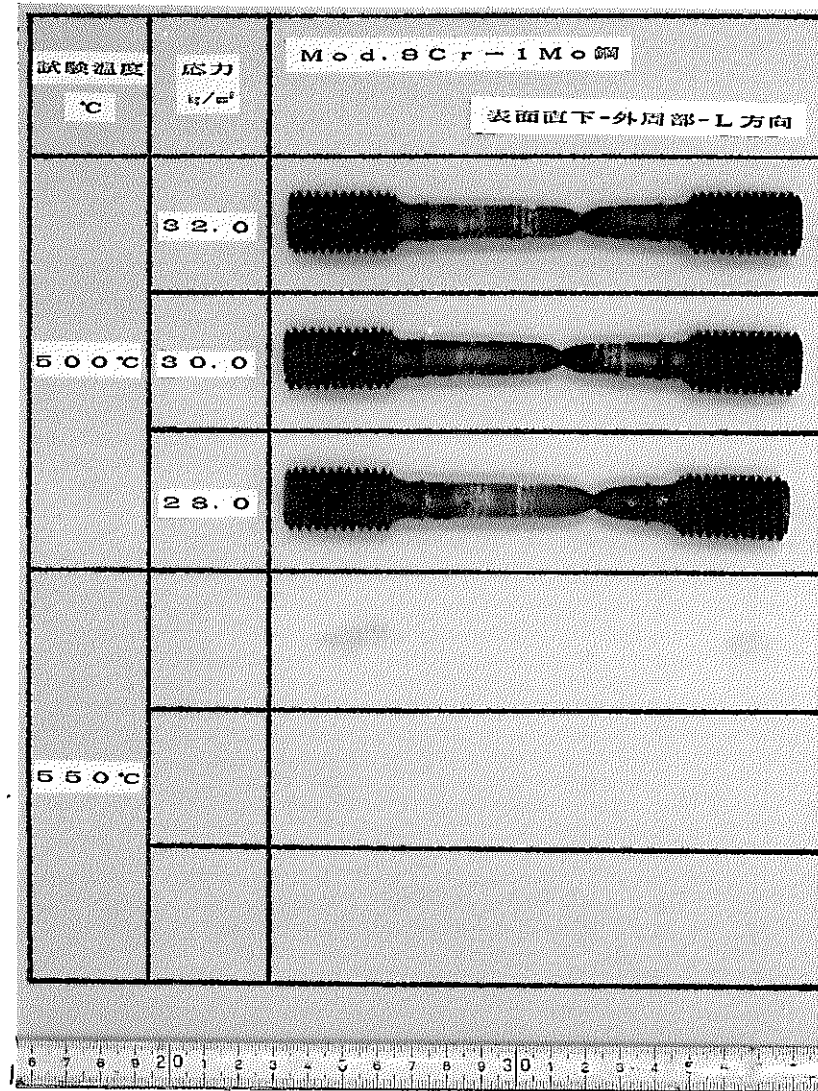
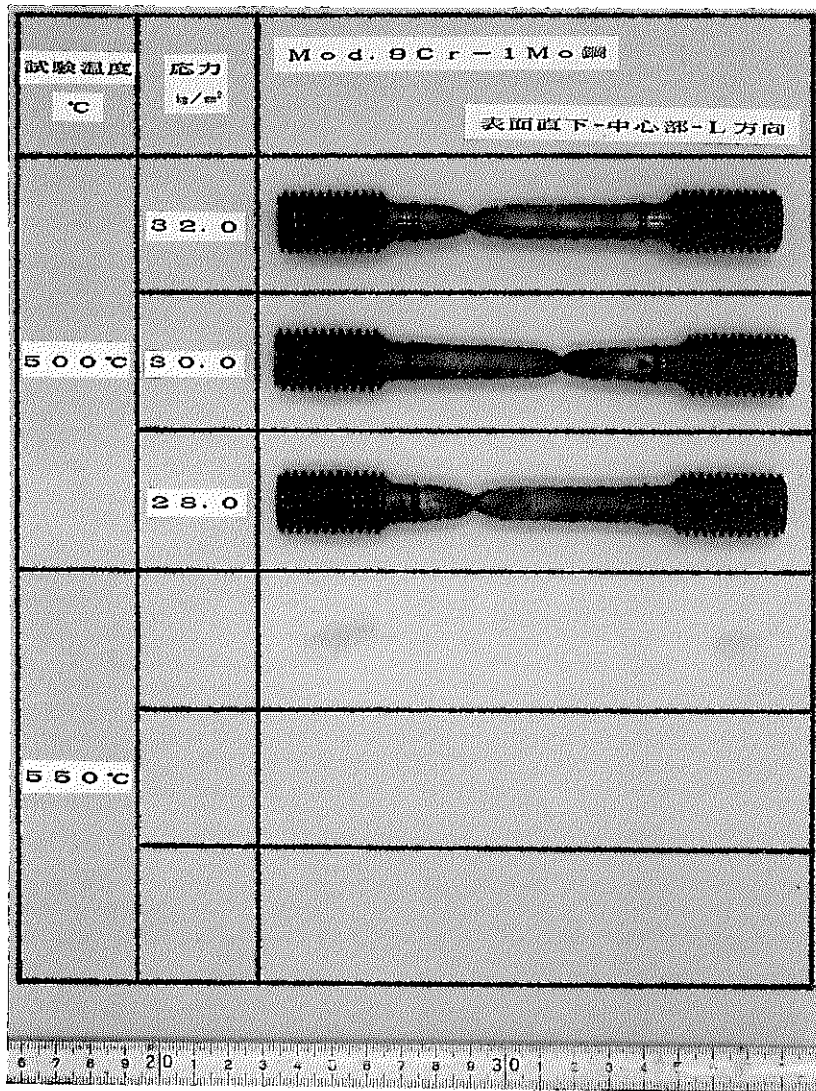


Photo. 1 Appearance of Mod. 9Cr-1Mo(F4)Steel Forging Creep Specimen after Creep Test in air.
(Surface-Direction L -Center and Outer at 500°C)

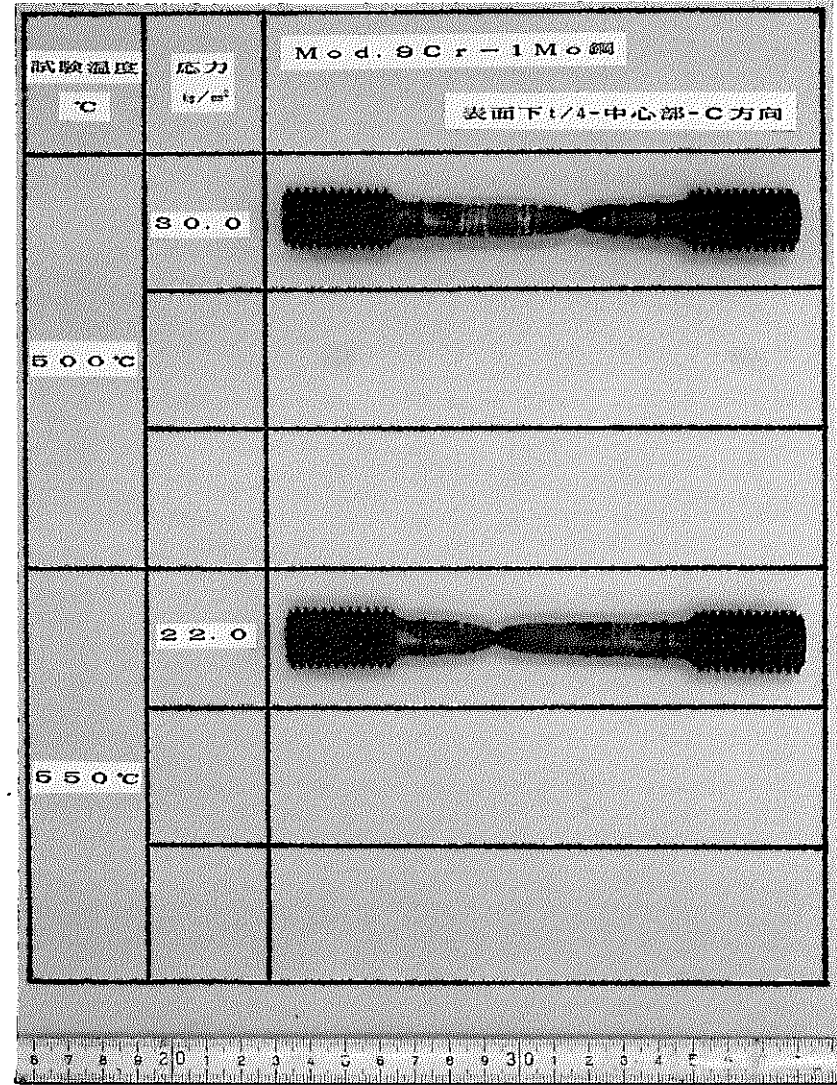
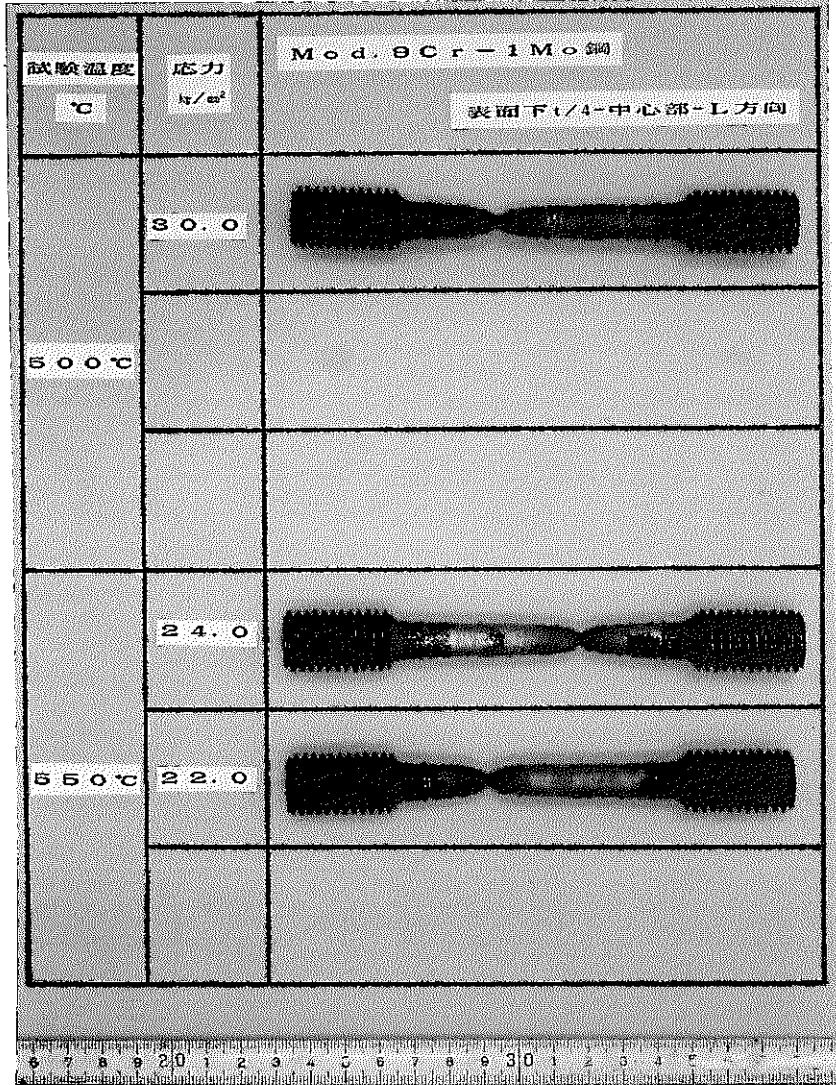


Photo. 2 Appearance of Mod.9Cr-1Mo(F4)Steel Forging Creep Specimen after Creep Test in air.
(t/4Thickness -Center-Direction L and C at 500, 550℃)

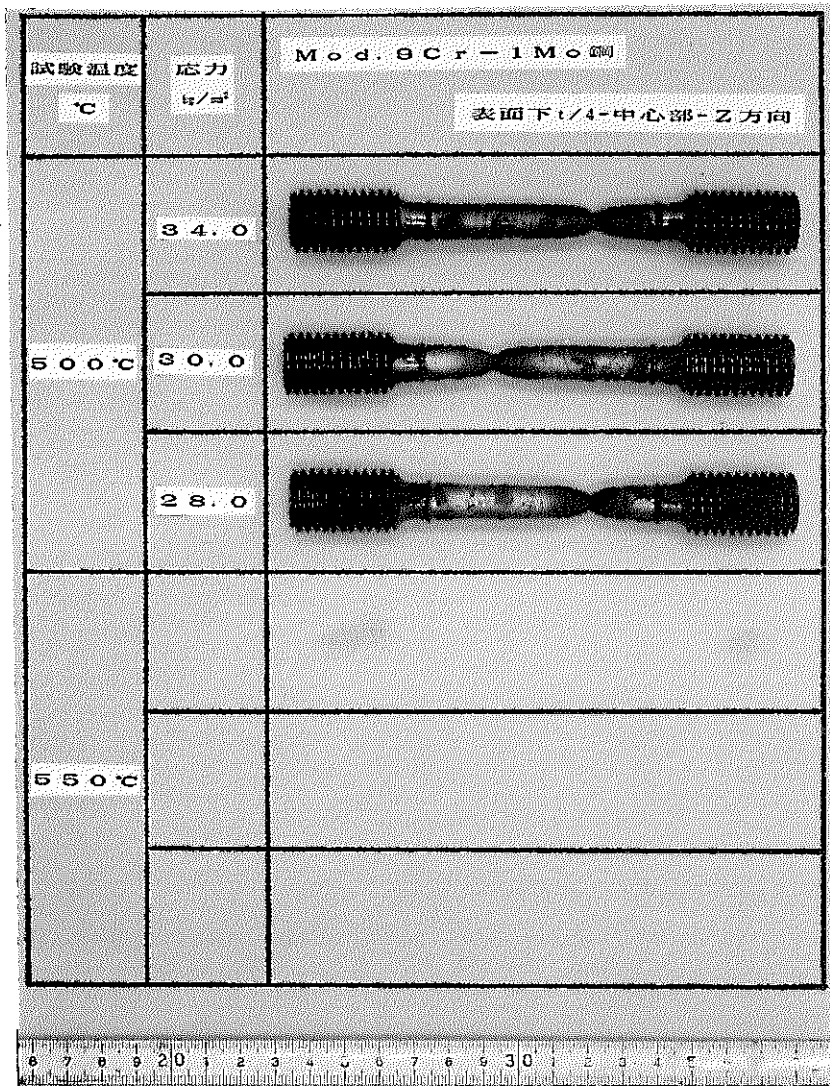


Photo. 3 Appearance of Mod. 9Cr-1Mo(F4)Steel Forging Creep Specimen after Creep Test in air.
(t/4Thickness -Center-Direction Z at 500°C)

試験温度 °C	応力 kg/cm ²	Mod. 9Cr-1Mo鋼 表面下t/2-中心部-L方向
500°C	30.0	
550°C	22.0	

試験温度 °C	応力 kg/cm ²	Mod. 9Cr-1Mo鋼 表面下t/2-中心部-Z方向
500°C	32.0	
	30.0	
	28.0	
550°C	22.0	
	20.5	

Photo. 4 Appearance of Mod. 9Cr-1Mo(F4)Steel Forging Creep Specimen after Creep Test in air.

(t/2Thickness -Center-Direction L and Z at 500, 550°C)

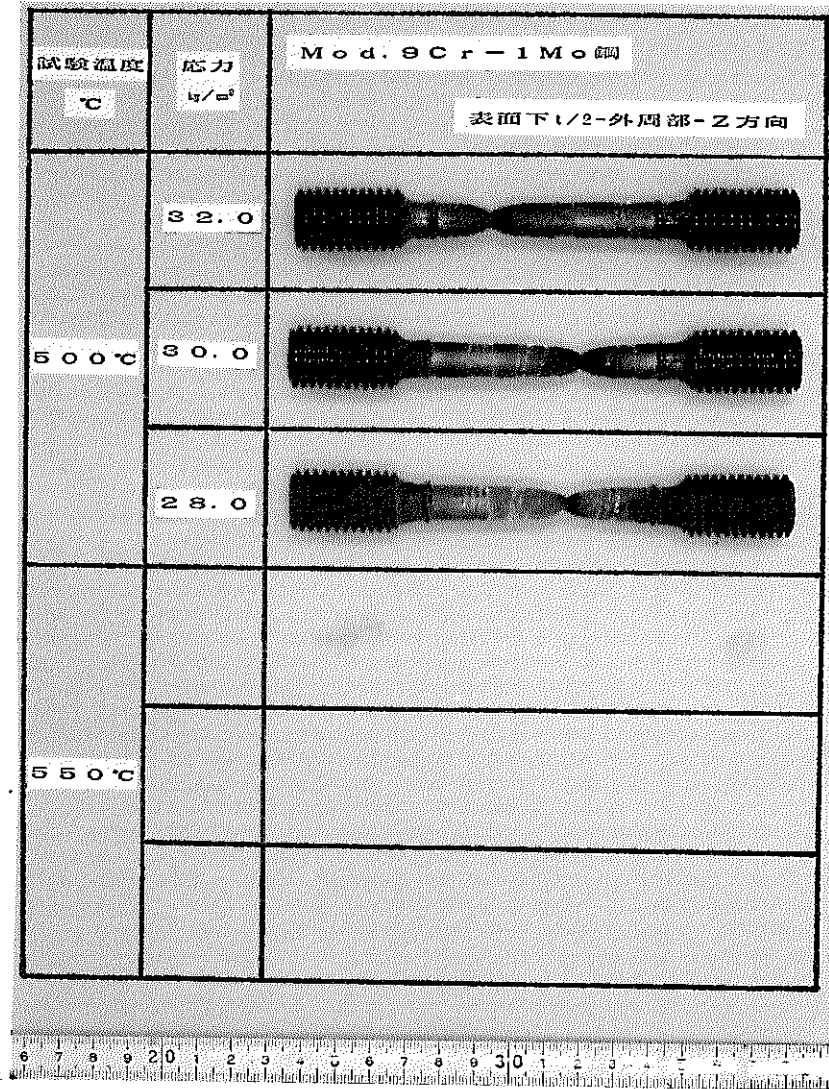
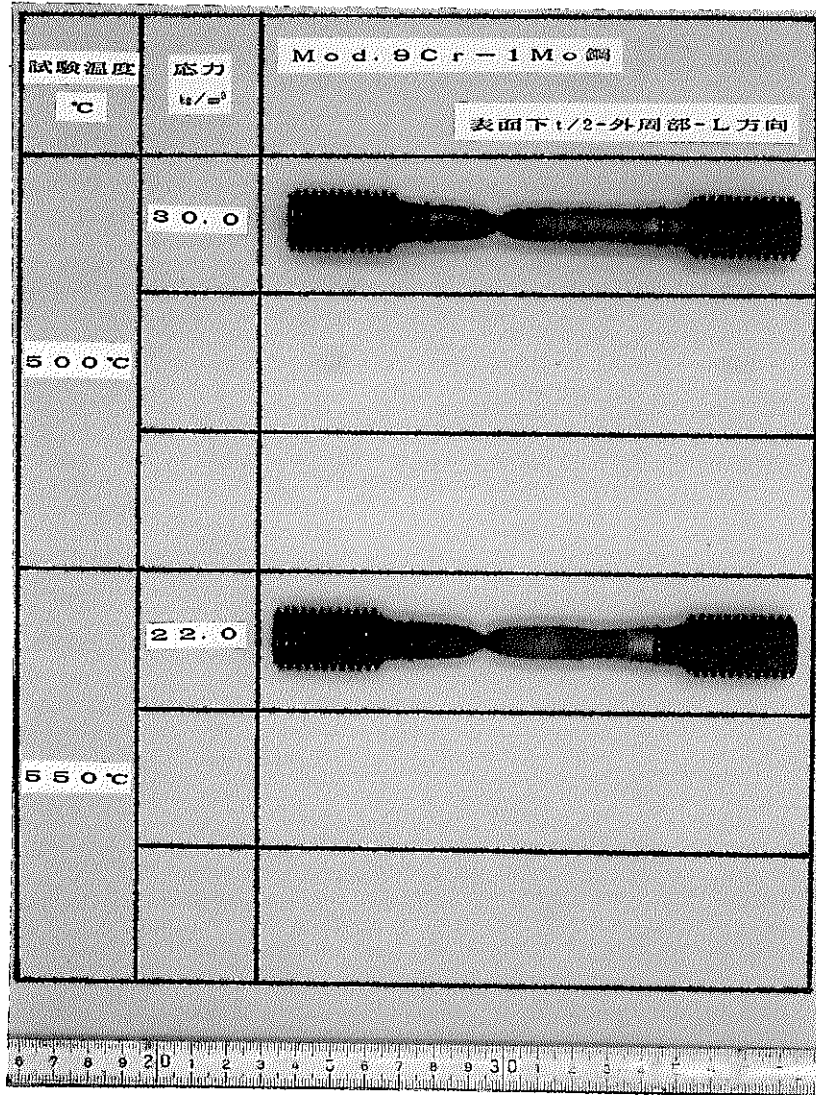


Photo. 5 Appearance of Mod.9Cr-1Mo(F4)Steel Forging Creep Specimen after Creep Test in air.
(t/2Thickness -Outer-Direction L and Z at 500, 550°C)

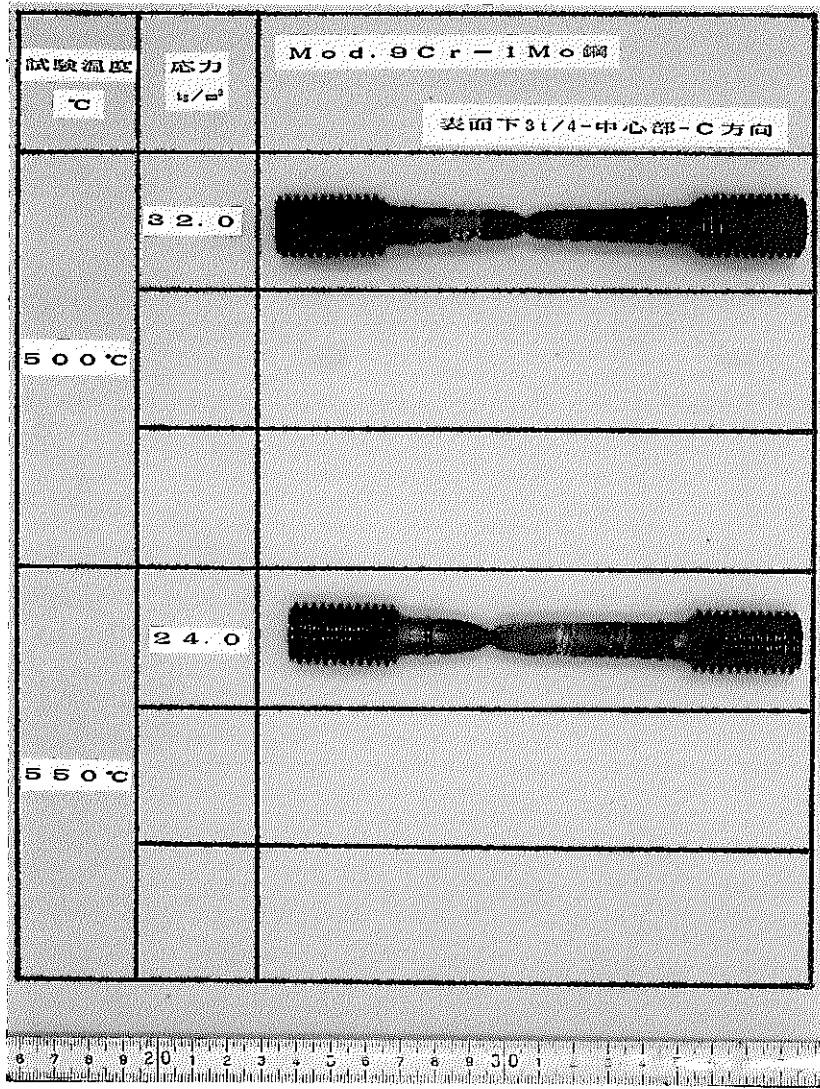
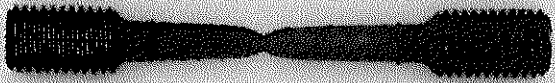
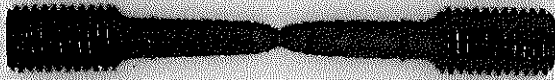






Photo. 6 Appearance of Mod. 9Cr-1Mo(F4)Steel Forging Creep Specimen after Creep Test in air.
 (3t/4Thickness -Center-Direction C at 500and550°C)

試験温度 °C	応力 kg/cm ²	Mod. 9Cr-1Mo (F8) 表面直下-中心部-L方向
500	32.0	
	30.0	
	28.0	

試験温度 °C	応力 kg/cm ²	Mod. 9Cr-1Mo (F8) 表面下1/2-中心部-L方向
500	32.0	
	30.0	
	28.0	

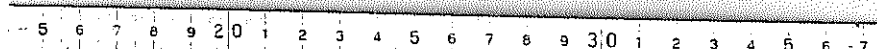
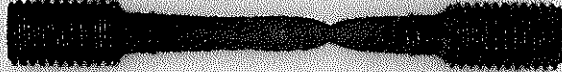







Photo. 7 Appearance of Mod. 9Cr-1Mo(F8)Steel Forging Creep Specimen after Creep Test in air.
(Surface, t/2Thickness-Direction L -Center at500°C)

試験温度 ℃	応力 kg/cm ²	Mod. 9Cr-1Mo (F8) 表面下 t/2 - 中心部 - Z 方向
500	32.0	
	30.0	
	28.0	
550	22.0	
	20.0	
	18.0	



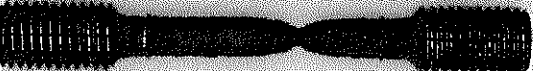
試験温度 ℃	応力 kg/cm ²	Mod. 9Cr-1Mo (F8) 表面下 t/4 - 中心部 - Z 方向
500	32.0	
	30.0	
	28.0	
550		

Photo. 8 Appearance of Mod.9Cr-1Mo(F8)Steel Forging Creep Specimen after Creep Test in air.

(t/2, t/4Thickness -Center-Direction Z at 500, 550°C)

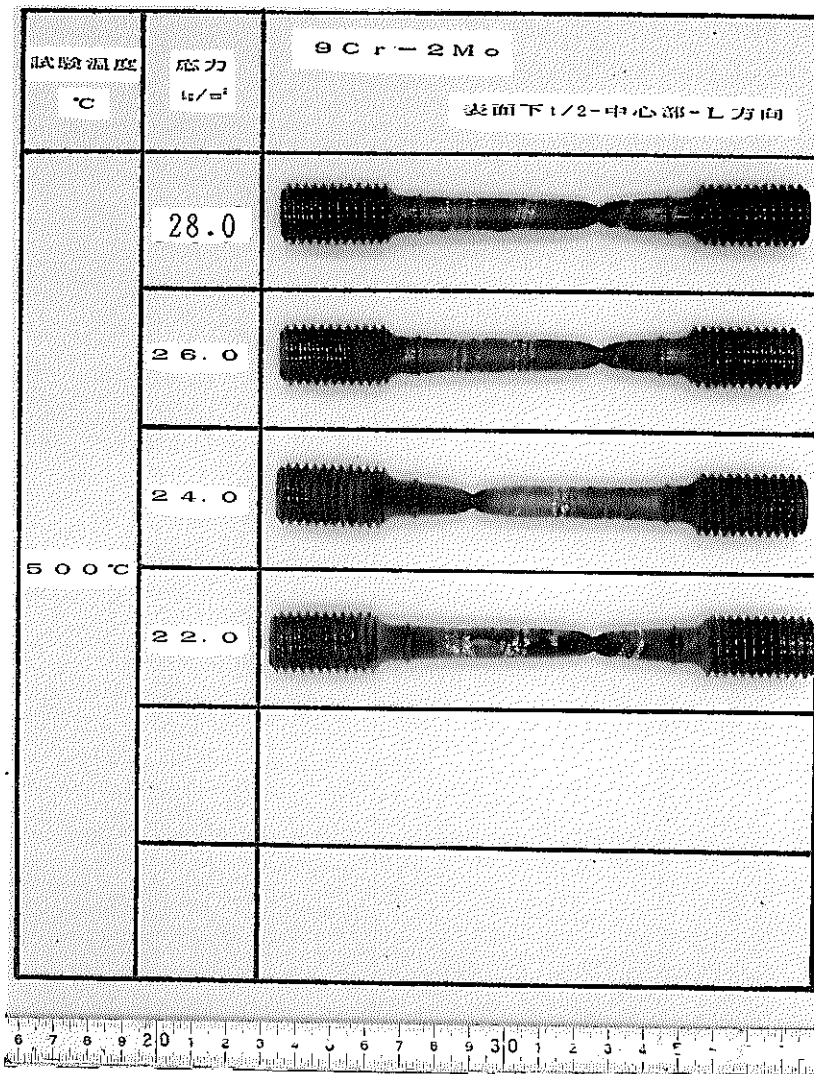
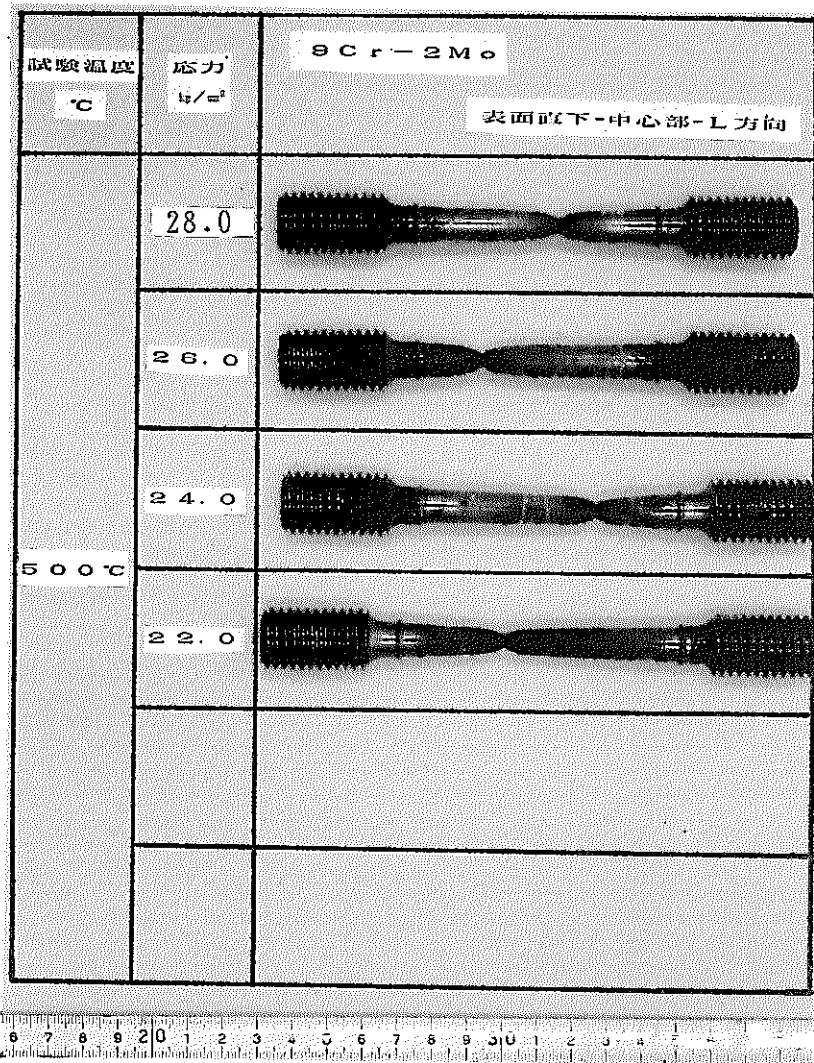

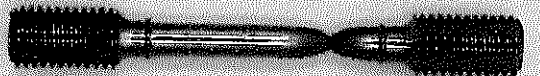




Photo. 9 Appearance of 9Cr-2Mo(H6)Steel Forging Creep Specimen after Creep Test in air.
(Surface, t/2Thickness -Center-Direction L at 500, 550°C)

試験温度 °C	応力 kg/cm ²	9Cr-2Mo 表面下 t/2-中心部-Z方向
500°C	28.0	
	26.0	
	24.0	
	22.0	




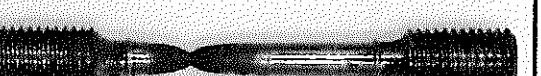
試験温度 °C	応力 kg/cm ²	9Cr-2Mo 表面下 t/4-中心部-Z方向
500°C	37.0	
	26.0	
	24.0	
	22.0	

Photo.10 Appearance of 9Cr-1Mo(H6)Steel Forging Creep Specimen after Creep Test in air.

(t/2, t/4 Thickness -Center-Direction Z at 500, 550°C)

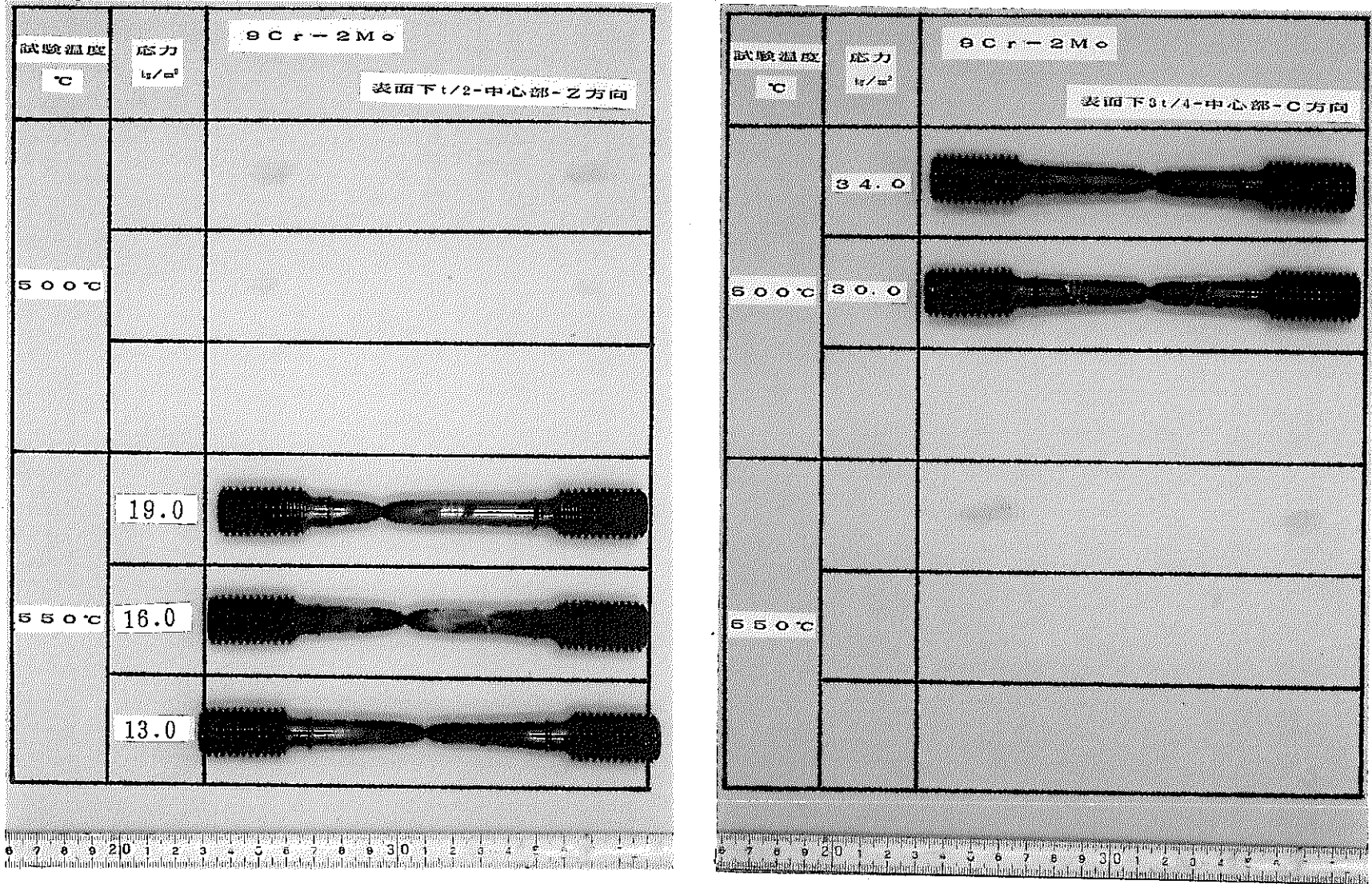


Photo.11 Appearance of 9Cr-2Mo(H6)Steel Forging Creep Specimen after Creep Test in air.

(t/2, 3t/4 Thickness -Center-Direction C and Z at 500, 550℃)

試験温度 °C	応力 kg/cm ²	9Cr-1Mo-Nb-V 表面直下-中心部-L方向
500°C	30.0	
	28.0	
	26.0	
550°C		

試験温度 °C	応力 kg/cm ²	9Cr-1Mo-Nb-V 表面下t/4-中心部-Z方向
500°C	30.0	
	28.0	
	26.5	
550°C		

Photo.12 Appearance of 9Cr-1Mo-Nb-V(G3) Steel Forging Creep Specimen after Creep Test in air.

(Surface, t/4Thickness -Center-Direction L and Z at 550°C)

試験温度 °C	応力 kg/cm ²	9Cr-1Mo-Nb-V 表面下1/2-中心部-L方向
500°C	30.0	
	28.0	
	26.0	
550°C		

試験温度 °C	応力 kg/cm ²	9Cr-1Mo-Nb-V 表面下1/2-中心部-Z方向
500°C	30.0	
	28.0	
	26.0	
550°C	22.0	
	18.0	
	18.0	

Photo.13 Appearance of 9Cr-1Mo-Nb-V(G3)Steel Forging Creep Specimen after Creep
 Test in air. (t/2Thickness -Center-Direction L and Z at 500,550°C)

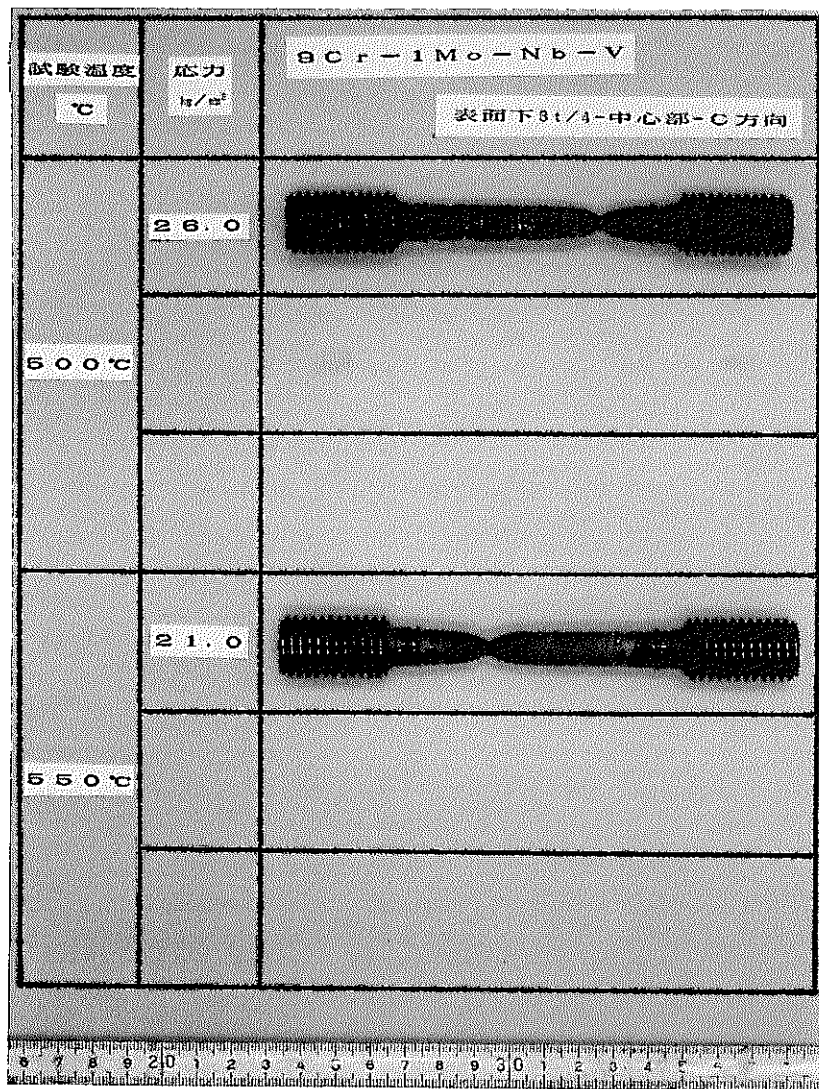


Photo.14 Appearance of 9Cr-1Mo-Nb-V(G3) Steel Forging Creep Specimen after Creep Test in air.
(3t/4Thickness -Center-Direction C at 500,550℃)