

# 高クロムモリブデン鋼の基本材料特性試験 (I)

極厚鍛鋼品 (250~280mm t) の高温引張特性

1990年6月

区 分 変 更	
変更後資料番号	PNC TN9410 90-122
決裁年月日	平成10年9月28日

動力炉・核燃料開発事業団  
大洗工学センター

この資料は、動燃事業団の開発業務を進めるため、限られた関係者だけに配布するものです。従って、その取扱いには十分注意を払って下さい。なお、この資料の供覧、複製、転載、引用等は事業団の承認が必要です。

## 高クロムモリブデン鋼の基本材料特性試験 (I)

極厚鍛鋼品 (250 ~ 280mm t) の高温引張特性

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有望視されている高クロムモリブデン鋼極厚鍛鋼品を試作し、その強度特性とこれにおよぼす試料採取位置および熱時効の影響を確認するために、受入材と時効材の室温および高温引張試験を実施した。供試材はMod. 9Cr-1Mo鋼 (F 4、F 8 ヒート)、9Cr-2Mo鋼 (H 6 ヒート) および9Cr-1Mo-Nb-V鋼 (G 3 ヒート) の3種類4ヒートである。熱時効条件は500、550°Cで最長3000時間とした。

得られた結果は以下の通りである。

- (1) 受け入れ材の引張特性を比較すると、Mod. 9Cr-1Mo鋼と9Cr-1Mo-Nb-V鋼はほぼ同等の強度を示した。Mod. 9Cr-1Mo鋼の引張強度にはヒート間の差異がみられた。
- (2) いずれの鋼種も厚さ方向 (Z方向) の引張強度は、主鍛造方向 (L方向) および主鍛造方向と直角方向 (C方向) のそれと比較すると低くなる傾向が認められたが、その程度は、小さなものであった。これ以外では、試料採取位置による引張特性への有意な差異は認められなかった。
- (3) 熱時効材のMod. 9Cr-1Mo鋼 (F 4) および9Cr-1Mo-Nb-V鋼 (G 3) の引張強度は多少バラツキはあるものの受け入れ材の強度とほぼ同等であった。9Cr-2Mo鋼の引張強度は熱時効の影響によって受け入れ材よりも若干低い値となった。
- (4) 鍛鋼品の引張強度は、鋼板および伝熱管のそれと比較すると全般的に低めの値であるが、材料強度基準 (暫定値) の設計降伏点  $S_y$  および設計引張強さ  $S_u$  を満足していた。ただし、Mod. 9Cr-1Mo鋼 F 8 ヒートの400°C以下および 9Cr-2Mo鋼の熱時効材の一部に暫定値を若干下回るものが見られた。

これらの成果は、Mod. 9Cr-1Mo鍛鋼品の改良に反映した。

---

\* 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.  
Tensile Properties of High Cr-Mo Steel forgings (250~280mmt).

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

Abstract

This study was performed to examine the tensile properties of 9Cr-Mo steel forgings, which are promising as the candidate materials for steam generator of large scale fast breeder reactor the influence of thermal aging and sampling location/direction. These results are to be reflected on foundation of materials strength standard. Test materials are three kinds of 9Cr-Mo steel forgings (thickness:250~280mmt) such as Mod.9Cr-1Mo (F4, F8 heats), 9Cr-1Mo-Nb-V (G3 heats), 9Cr-2Mo (H6 heats) steels. The heat treatment on the thermal aging were carried out at 500, 550°C for 3000hours.

Results obtained are summarized as follows.

- (1) Tensile properties were much about the same between Mod.9Cr-1Mo and 9Cr-1Mo-Nb-V Steel forgings.
- (2) Tensile strength of four materials at direction Z was slightly lower than that of direction L or C and there are no significant difference on the sampling location /direction.
- (3) Tensile strength of Mod.9Cr-1Mo steel and 9Cr-1Mo-Nb-V steel forgings after thermal aging for 3000hours was same as that of as-received ones. However, the strength of 9Cr-2Mo steel forging at high temperature decreased because of aging effect.
- (4) The 0.2 percent yield stress and tensile strength of forged steels satisfied the PNC preliminary design standard values of  $S_y$  and  $S_u$ , but inferior to plating and tubing steels. However, tensile strength of Mod.9Cr-1Mo steel forging (F8 heat) at the lower temperature than 400°C and 9Cr-2Mo steel forging after thermal aging were lower than that of preliminary values.

These results were reflected to advance the specification of Mod.9Cr-1Mo steel thick forgings.

---

\* 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 供試材および試験片形状 .....	2
2.2 試料採取要領 .....	2
2.3 熱時効処理 .....	2
2.4 引張試験方法 .....	3
3. 試験結果および検討 .....	4
3.1 引張特性 .....	4
3.2 試料採取位置の影響 .....	5
3.3 熱時効の影響 .....	7
4. まとめ .....	11
謝 辞 .....	12
参考文献 .....	13

## List of Figures

- Fig 1-1 Size and Configuration of the Test Specimens.
- Fig 1-1 Sampling Method of Tensile test Specimens of 9Cr-Mo Steel forgings.
- Fig 2-1 Effect of Temperature on Tensile Properties of Various 9Cr-Mo Steel forgings. (Center,  $t/4$ Thickness, L)
- Fig 2-2 Effect of Temperature on Tensile Properties of Various 9Cr-Mo Steel forgings. (Center,  $t/4$ Thickness, Z)
- Fig 2-3 Effect of Temperature on Tensile Properties of Various 9Cr-Mo Steel forgings. (Center,  $t/2$ Thickness, L)
- Fig 2-4 Effect of Temperature on Tensile Properties of Various 9Cr-Mo Steel forgings. (Center,  $t/2$ Thickness, Z)
- Fig 2-5 Effect of Temperature on Tensile Properties of Various 9Cr-Mo Steel forgings. (Center,  $t/4$ Thickness, L)
- Fig 2-6 Effect of Temperature on Tensile Properties of Various 9Cr-Mo Steel forgings. (Center,  $t/4$ Thickness, Z)
- Fig 2-7 Effect of Temperature on Tensile Properties of Various 9Cr-Mo Steel forgings. (Center,  $t/2$ Thickness, L)
- Fig 2-8 Effect of Temperature on Tensile Properties of Various 9Cr-Mo Steel forgings. (Center,  $t/2$ Thickness, Z)
- Fig 2-9 Variation of Ratio with Test Temperature of Various 9Cr-Mo Steel forgings.
- Fig 2-10 Effect of Sampling Method on Tensile Properties of Mod. 9Cr-1Mo Steel forging (F4).
- Fig 2-11 Effect of Sampling Method on Tensile Properties of Mod. 9Cr-1Mo Steel forging (F8).
- Fig 2-12 Effect of Sampling Method on Tensile Properties of 9Cr-2Mo Steel forging (H6).
- Fig 2-13 Effect of Sampling Method on Tensile Properties of 9Cr-1Mo-Nb-V Steel forging (G3).

Fig 2-14 Effect of Sampling Method on Tensile Ductilities of Mod.9Cr-1Mo Steel forging (F4) .

Fig 2-15 Effect of Sampling Method on Tensile Ductilities of Mod.9Cr-1Mo Steel forging (F8).

Fig 2-16 Effect of Sampling Method on Tensile Ductilities of 9Cr-2Mo Steel forging (H6).

Fig 2-17 Effect of Sampling Method on Tensile Ductilities of 9Cr-1Mo-Nb-V Steel forging (G3).

## List of Tables

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



## 1. はじめに

高速増殖原型炉「もんじゅ」の建設が平成4年の臨界を目標に進められており、さらに実用化炉に向けての研究開発が活発に実施されてきている。

FBR実用化にとっては、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、一定期間に交換することのできる炉心材料と比較し、構造材料は供用末期までの健全性を確保しなければならないなど、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、耐応力腐食割れ性および耐熱応力性などの優れた材料が望まれている。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および $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$ 鋼）に変わる材料として国内外のボイラ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いる。<sup>(1)~(5)</sup> 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、高温高圧水中での耐応力腐食割れ、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）に比較すると、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、水蒸気による全面腐食が少ないなど、蒸気発生器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過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、機器のコンパクト化がはかられ経済性向上に大きく貢献できるものと考えられる。

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ている。<sup>(6)~(9)</sup>

蒸気発生器においては、極厚鍛鋼品が蒸気発生管板構造に使用が予定されている。極厚鍛鋼品は、一般的に板材等と比較した場合、極厚材であるため鍛練比および熱処理条件等の違いによる材料特性の低下や熱時効による破壊靱性の低下が懸念される。このため、極厚鍛鋼品（250～280mm t）を試作し、その基本材料特性（引張特性、クリープ挙動特性、衝撃特性、疲労特性）を把握する特性変化について検討し、その強度特性について見通しを示す必要がある。

本報告では、これらの基本材料特性の内、引張特性について試作した鍛鋼品の適用性見直しを取りまとめた。

## 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、既に高クロムモリブデン鋼の選定試験<sup>(8)</sup><sup>(9)</sup>に於いてその適用が有望視される下記の3種類4ヒートの高クロムモリブデン鋼である。

- ① Mod. 9Cr-1Mo鋼（公称呼び名:F4）
- ② Mod. 9Cr-1Mo鋼（公称呼び名:F8）
- ③ 9Cr-2Mo鋼（公称呼び名:H6）
- ④ 9Cr-1Mo-Nb-V鋼（公称呼び名:G3）

供試材は、いずれも概略寸法1000×1000×250～280mmの極厚鍛鋼品である。製造仕様をTable1-1～1-4に、製造フローをTable1-5～1-8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Table1-9に、ミルシートの強度特性値をTable1-10に示す。引張試験片形状は、直径10mmの中実丸棒タイプであり、Fig1-1に試験片の形状寸法を示す。

### 2.2 試料採取要領

試験片の試料採取に当たっては、鍛鋼品の強度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Fig1-2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、それぞれの中心部および外周部について肉厚方向に対しては表面直下 $t/4$ 、 $t/2$ および $3t/4$ 部について試験片を採取し、試験に供した。

### 2.3 熱時効処理

引張特性におよぼす熱時効の影響を評価するため、熱時効処理の試験片を作製した。熱時効条件は、高クロムモリブデン鋼選定試験<sup>(8)</sup>条件に符合させ、熱時効温度を550℃および500℃とし、各温度で3000時間とした。熱時効の容器にはSUS304鋼を使用した。容器内は試験片の酸化を防止するために不活性ガス（高純度アルゴンガス）を充填し、その状態で熱時効処理を施した。

なお、Mod. 9Cr-1Mo鋼（F8）材に関してはインゴットのまま時効を実施し、その後試験片に加工した。

#### 2.4 引張試験方法

引張試験は、JIS-G-2241「金属材料引張試験方法」に従い実施した。すなわち歪速度は、標点間の歪で制御し、約 0.5%以下の低歪側で0.3%/min、これを超える高歪側においてはクロスヘッド間等速制御方式により試験した。引張試験温度は室温から550℃までとし、熱時効材については各々の熱時効温度と同一とした。

### 3. 試験結果および検討

#### 3.1 引張特性

##### (1) 引張特性および0.2%耐力

本試験で得られた Mod. 9Cr-1Mo鋼、9Cr-1Mo-Nb-V鋼および 9Cr-2Mo鋼の引張強さ、0.2%耐力について鍛鋼品中心部L方向 (t/2, t/4)をFig2-1とFig2-3に、中心部Z方向 (t/2, t/4)をFig2-2とFig2-4にそれぞれ示す。引張特性を鋼種間で比較すると、引張強さは、Mod. 9Cr-1Mo鋼(F4)>9Cr-1Mo-Nb-V鋼(G3)>Mod. 9Cr-1Mo鋼(F8)>9Cr-2Mo鋼の順であり、0.2%耐力では9Cr-1Mo-Nb-V鋼 (G 3) > Mod. 9Cr-1Mo鋼 (F 4) > Mod. 9Cr-1Mo鋼 (F 8) > 9Cr-2Mo鋼 (H 6) の順となった。この傾向は、試験片採取方向などによる差がみられず、同様であった。既に実施されている板材の引張強度比較<sup>(6)</sup>においては、Mod. 9Cr-1Mo鋼 > 9Cr-2Mo鋼 > 9Cr-1Mo-Nb-V鋼の順となっており、鍛鋼品と異なった傾向となった。これは、鍛鋼品が極厚のため、焼き入れ焼き戻しの時間および温度が異なることから引張特性に影響を与えているものと推察される。また、Mod. 9Cr-1Mo鋼のF4ヒートとF8ヒートを比較すると、引張強さおよび0.2%耐力はF4ヒートの方が高い値を示した。これは、焼き戻し温度、SR処理温度の差による影響と推察され、今後金相等の詳細解析が必要と考えられる。

図中には、各鋼種の材料強度基準暫定値<sup>(10)</sup>もあわせて示した。各試料採取位置における引張強さは、Mod. 9Cr-1Mo鋼 (F 4) では各部位において引張強さおよび0.2%耐力とも暫定値と同等またはそれ以上強度を有していた。Mod. 9Cr-1Mo鋼 (F 8) 材においては、200 ~ 400℃の範囲を下回っているが、500℃以上では、暫定値と同等またはこれを満足するものであった。これらの結果は、0.2%耐力においても同じ様であった。9Cr-2Mo鋼 (H 6) は、今回試験した4材料の内、引張強さ、0.2%耐力とももっとも低い値であった。9Cr-1Mo-Nb-V鋼 (G 3) については引張強さおよび0.2%耐力とも暫定値を大きく上回る結果となった。

Fig2-9に各試験温度における0.2%耐力に対する引張強さの関係、すなわち荷重-伸び曲線における0.2%耐力を引張強さで除した値を示した。9Cr-1Mo-Nb-V鋼 (G 3) および Mod. 9Cr-1Mo鋼 (F 4) は、各試料採取位置においても室温から500℃を境に急激に低下した。また Mod. 9Cr-1Mo鋼 (F 8) および 9Cr-2Mo鋼 (H 6) では、500℃を境に比率が増大する傾向が観察された。これら3鋼種4ヒートとも600℃においては、ほ

ば80%程度と同じような値となった。

## (2) 破断伸びおよび絞り

本試験で得られた Mod. 9Cr-1Mo鋼、9Cr-1Mo-Nb-V鋼および 9Cr-2Mo鋼の試験後の破断伸びおよび絞りについて、鍛鋼品中心部L方向 ( $t/2$ ,  $t/4$ )をFig2-5とFig2-7に、中心部Z方向 ( $t/2$ ,  $t/4$ )をFig2-6とFig2-8にそれぞれ示す。試験後の破断伸びおよび絞りは、各材料ともほぼ同じ様な値を示し、破断伸びは各鋼種ともほぼ20%前後、絞りは70~90%程度であった。破断伸びは、室温から 400℃までは徐々に低下し、それ以上では伸びが大きく増加している。絞りに関しては4材料とも室温から 400℃まではほぼ70%以上の値を示し、500℃以上では絞りが大きく増大していた。

## 3.2 試料採取位置の影響

Fig2-10 ~ Fig2-17に表面下L方向（中央部、外周部）、 $t/4$ 肉厚L、C、Z方向（中央部）および  $t/2$ 肉厚L、Z方向（中央部、外周部）の試料採取位置による強度比較を室温、500℃および550℃について各々示す。

### (1) 引張強さおよび 0.2%耐力

Mod. 9Cr-1Mo鋼 (F 4) の各試料採取位置での引張特性を Fig2-10に示す。引張強さは、室温、500℃および 550℃のいずれの温度においても試料採取位置によるおおきな差異が認められなかった。しかしながら、0.2%耐力に関しては、室温の $t/4$ 肉厚の中央部C方向および 500℃の表面下中央部L方向と $3/4t$ 肉厚中央部のC方向が全般的に低めであった。550℃の試験では試料採取位置による 0.2%耐力の差異は認められない。

Mod. 9Cr-1Mo鋼 (F 8) 各試料採取位置による引張特性をFig2-11 に示す。引張強さに関しては、各試料温度において  $t/2$ 肉厚中央部のZ方向が全体として低い値となった。これは、本材料が極厚鍛鋼品の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、この冷却速度が強度に影響しているものと考えられる。0.2%耐力に関しては、 $t/2$ 肉厚中央部のZ方向が他の試料採取位置と比較しわずかながら低い傾向を示しているが、全体としては有意な差とは認められずほぼ同等であった。

9Cr-2Mo鋼 (H 6) の各試料採取位置の引張特性を Fig2-12に示す。引張強さ、0.2%耐力に関しても、各試験温度で試料採取位置のZ方向が低くなる傾向が認められるものの全体としては大きな差異はなく、ほぼ同等と考えられる。

9Cr-1Mo-Nb-V鋼 (G 3) の各試料採取位置における引張特性を Fig2-13に示す。引張

強さに関しては、 $t/2$ 肉厚中央部および外周部のZ方向が全体と比較した場合若干低い値となり、0.2%耐力に関してもこれと同様の傾向となった。

今回試験を実施した極厚鍛鋼品4材料では、全体として鍛鋼品の厚さ方向（Z方向）の引張強度が種鍛造方向（L方向）および種鍛造方向と直角方向（C方向）のそれぞれとを比較すると低くなる傾向がみとめられたが、その程度は、工学的には小さいものであった。これ以外では、試料採取位置による引張強度におよぼす有意な異差は認められなかった。

## (2) 破断伸びおよび絞り

Mod. 9Cr-1Mo鋼（F 4）の各試料採取位置における破断伸びおよび絞りの関係を Fig 2-14に示す。破断伸びは、室温では各試料採取位置のZ方向がわずかに低くなる傾向が認められた。500℃の試験では $t/2$ 肉厚中央部のL方向およびZ方向が全体と比較した場合、若干低い値となった。550℃の試験においては前述の傾向とは異なり $t/4$ 肉厚中央部のZ方向および $t/2$ 肉厚外周部のL、Z方向が全体と比較して高い値となった。これら以外の試料採取位置においては、ほぼ同様の値となった。絞りに関しては、各試験温度とも試料採取位置のZ方向が全体として低い値となった。550℃においては、この傾向は顕著に現れ、特に $t/2$ 肉厚の中央部および外周部について大きく低下していた。

Mod. 9Cr-1Mo鋼（F 8）の各試料採取位置における破断伸びおよび絞りの関係を Fig 2-15に示す。破断伸びに関しては、各試験温度において試料採取位置による大きな差異は認められないものの、室温の試験では、 $t/4$ 肉厚中央部のZ方向がわずかながら低い値を示した。絞りは、500℃および550℃の結果で鍛鋼品内部において全体として低い値を示し、特にZ方向が低い値となった。

9Cr-2Mo鋼（H 6）の各試料採取位置における破断伸びおよび絞りの関係を Fig 2-16に示す。破断伸びは、室温においてわずかではあるが $t/4$ 肉厚の中央部Z方向で低い値を示していたが、500℃は、試料採取位置による破断伸びの有意な差は認められなかった。しかし550℃での試験結果では、 $t/4$ 肉厚中央部のL方向および $t/2$ 肉厚外周部のZ方向が全体と比較し、低い値となった。絞りは、500、550℃では各試料採取位置による差異は認められないものの、室温では、 $t/2$ 肉厚中央部のZ方向表面下中央部のL方向および $3/4t$ 肉厚中央部のC方向が若干低い値となった。

9Cr-1Mo-Nb-V鋼（G 3）の各試料採取位置における破断伸びおよび絞りの関係を Fig 2-17に示す。破断伸びは、各試験温度においても試料採取位置による差はみとめられな

い。絞りに関しては、各試料採取位置の各温度においてその傾向が異なっており、室温においては、 $t/4$ 肉厚中央部のC、Z方向および $t/2$ 肉厚外周部が、 $500^{\circ}\text{C}$ では表面部外周部のL方向、 $t/4$ 肉厚中央部のL方向および $t/2$ 肉厚中央部および外周部が全体と比較して低い値となった。また、 $550^{\circ}\text{C}$ では $t/2$ 、 $t/4$ 中央部のZ方向が低い値となった。

### 3.3 熱時効の影響

#### (1) 引張強さおよび0.2%耐力

今回試験を実施した4材料について、3000時間熱時効材の引張強さおよび0.2%耐力をFig2-3とFig2-4にそれぞれ黒塗りマークで示した。これらの図には、 $t/2$ 肉厚中央部のL方向およびZ方向の受け入れ材と熱時効材との比較結果を示した。 $500^{\circ}\text{C}$ 、 $550^{\circ}\text{C}$ におけるMod.9Cr-1Mo鋼(F4)と9Cr-1Mo-Nb-V鋼(G3)では受け入れ材と熱時効材の引張強さは同等であり、有意な差が認められなかった。9Cr-2Mo鋼(H6)およびMod.9Cr-1Mo鋼(F8)に関しては、熱時効材が受け入れ材と比較して $1\sim 2\text{ kg/mm}^2$ 程度低くなる傾向を示した。この傾向は、熱時効温度が高くなるにつれて顕著に認められた。また、今回試験を実施した4材料の内、3材料(Mod.9Cr-1Mo鋼(F8)、Mod.9Cr-1Mo鋼(F4)、および9Cr-1Mo-Nb-V鋼(G3))の引張強さは、 $500^{\circ}\text{C}$ 、 $550^{\circ}\text{C}$ の熱時効後も暫定値を上回るものの、9Cr-2Mo鋼(H6)は、熱時効による強度の低下が認められ、暫定値を下回る結果となった。

0.2%耐力に関する熱時効の影響は引張強さと同様にMod.9Cr-1Mo鋼(F4)および9Cr-1Mo-Nb-V鋼(G3)では、熱時効による有意な差異が認められなかった。しかしながらMod.9Cr-1Mo鋼(F8)および9Cr-2Mo鋼(H6)に関しては、熱時効より0.2%耐力がわずかながら低下する傾向を示した。

Fig2-9に各材料の0.2%耐力に対する引張強さの比、すなわち0.2%耐力以降の強度を受け入れ材と熱時効材とを比較した。熱時効材は黒塗りマークで示してある。試料採取位置は、 $t/2$ 肉厚中央部のL方向およびZ方向である。Mod.9Cr-1Mo鋼(F4)、9Cr-2Mo鋼(H6)および9Cr-1Mo-Nb-V鋼(G3)に関しては、熱時効による影響は認められないものの、Mod.9Cr-1Mo鋼(F8)の $550^{\circ}\text{C}$ の試験結果では、その比が受け入れ材と比較して高い値となった。これは、0.2%耐力を過ぎてからの伸びが少なくなる事を意味するものであり、本材料が熱時効より、影響したものと推察される。

Fig2-10にMod.9Cr-1Mo鋼(F4)の異なった試料採取位置による熱時効材の引張特

性を受け入れ材と比較し黒塗りマークで示した。室温、550℃および550℃における熱時効材の引張強さは、500℃で受け入れ材よりも熱時効材の方がわずかながら高くなる傾向を示すが、有意な差とは考えられない。0.2%耐力に関しては、試料採取位置における熱時効材の影響はほとんど認められない。

Fig2-11に Mod.9Cr-1Mo鋼 (F 8) の試験結果を示す。異なった試料採取位置における引張強さを受け入れ材と熱時効で比較すると、500℃、550℃の各温度で全体として熱時効がわずかながら低い値を示した。0.2%耐力に関しては、受け入れ材と熱時効材の差異は、ほとんど認められない。また、異なった試料採取位置における熱時効の温度影響は認められず受け入れ材と同様の挙動であった。

Fig2-12に 9Cr-2Mo鋼 (H 6) の試験結果を示す。引張強さおよび0.2%耐力は、熱時効材が受け入れ材よりも全体的に低目の値となり、熱時効による影響がわずかに認められた。この影響は、試料採取位置によらず同様であった。

Fig2-13に9Cr-1Mo-Nb-V鋼 (G 3) の試験結果を示す。引張強さおよび0.2%耐力とも受け入れ熱時効との差異はみとめられず、かつ各試料採取位置においても熱時効の影響は認められなかった。

このように、Mod.9Cr-1Mo鋼 (F 4) を除く3材料 (Mod.9Cr-1Mo鋼 (F 8)、9Cr-2Mo鋼 (H 6) および9Cr-1Mo-Nb-V鋼 (G 3)) については、受け入れ材と熱時効材を比較すると、いずれも熱時効材で引張強度の低下が認められ、この低下は、熱時効温度が上昇するに従って大きくなる傾向を示した。これは、材料の焼きもどしが十分でなく、熱時効温度上昇に伴い、焼きもどし温度に近づくにつれて焼きもどし時の回復しきれていない内部応力が回復し軟化が生じるためと推察される。また、析出物による強度増加は、析出物間距離に逆比例するといわれており、<sup>(8)</sup> このようなことから析出物の凝集粗大化現象が本試験の熱時効材温度上昇に伴う強度低下の一因とも考えられた。

## (2) 破断伸びおよび絞り

本試験で実施した4材料の破断伸びおよび絞りに関する熱時効材の結果を受け入れ材と比較し、黒塗りマークでFig2-7とFig2-8に示す。図中には、 $t/2$ 肉厚中央部のL方向およびZ方向から試験片を採取した受け入れ材と熱時効材とを比較した結果をそれぞれ示した。Mod.9Cr-1Mo鋼 (F 4, F 8) の破断伸びは、各試験温度において受け入れ材よりも高い値を示し、特に550℃で顕著であった。9Cr-2Mo鋼 (H 6) は、熱時効によりわずらながら低い値を示した。9Cr-1Mo-Nb-V鋼 (G 3) については、熱時効による有



意な差は認められなかった。これらの傾向は、各鋼種共試料採取位置に関わらず同じ様な傾向であった。

絞りに関しては、Mod. 9Cr-1Mo鋼 (F 8) 以外の 3 材料 (Mod. 9Cr-1Mo鋼 (F 4)、9Cr-2Mo鋼 (H 6) 9Cr-1Mo-Nb-V鋼 (G 3)) では、熱時効による有意な差異は認められないが、Mod. 9Cr-1Mo鋼 (F 8) では受け入れ材よりも各熱時効材の方が高い値となった。

次に Mod. 9Cr-1Mo鋼 (F 4) について各試料採取位置での熱時効材の破断伸びおよび絞りの結果を Fig2-14に黒塗りマークで示す。550℃の熱時効材の破断伸びは、熱時受け入れ材よりも高い値となった。熱時効温度 500℃では、受け入れ材と比較し有意な差異は認められていない。異なった試料採取位置では各熱時効温度により受け入れ材と熱時効材で各部位で、異なった挙動となった。これらは今後詳細解析を実施する必要があると考えられる。500℃熱時効材の絞りは、 $t/2$ 肉厚中央部 Z 方向を除いて受け入れ材と同様であった。550℃熱時効材は、受け入れ材では  $t/2$ 肉厚の中央部および外周部の伸びが小さい値を示しているが、熱時効により大きくなる傾向を示した。

Mod. 9Cr-1Mo鋼 (F 8) の熱時効材の試験結果を Fig2-15に黒塗りマークで示す。熱時効材の破断伸びおよび絞りは受け入れ材よりも高い値を示し、熱時効温度が上昇するに従いこの傾向は顕著となった。この傾向は、Mod. 9Cr-1Mo鋼 (F 4) では観察されていない。これは、この材料が製造時において焼き入れ、焼き戻しが十分でなく、熱時効の影響を受け易くなっているものと推察される。試料採取位置では、受け入れ材が試料採取の Z 方向で全体として低い値となっているが、熱時効材もこれと同様の傾向となった。

9Cr-2Mo鋼 (H 6) の熱時効材の試験結果を Fig2-16に黒塗りマークで示す。破断伸びに関しては、500℃時効材が受け入れ材と比較して低い値を示し、その傾向は、鍛鋼材内部で特に低い値となった。このような引張特性におよぼす熱時効の影響は、9Cr-2Mo鋼に多く含まれている  $\delta$  フェライト相中での熱時効に伴う析出挙動と密接な関係があると考えられる。既報<sup>(8)</sup>では9Cr-2Mo鋼の同様の熱時効試験で多量の析出物( $Fe_2Mo$ )が観察されており、本試験においても同様にこれら析出物が増加凝縮し、強度特性に影響を与えているものと推察される。熱時効の詳細調査は、今後金相、硬さ等の試験を実施する必要がある。絞りに関しては、各熱時効材とも受け入れ材、試料採取位置での有意な差異は認められなかった。

9Cr-1Mo-Nb-V鋼（G3）の熱時効材の試験結果を Fig2-17に黒塗りで示す。破断伸びは、各温度による熱時効の影響は認められず、受け入れ材と同様となった。また、異なった試料採取位置においても受け入れ材と比較した場合、有意な差異は認められない。絞りに関しては、受け入れ材のZ方向が低い値を示しているが、500℃時効材では試料採取位置による差異がなく、550℃では受け入れ材と同様に挙動となった。この結果は、熱時効によって影響を受け性状が変化したものと推察される。

## 4. ま と め

次期大型炉の蒸気発生器材料として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 250～280 mm t について基本となる高温引張特性を把握すると共に、これにおよぼす材料の部位、方向性ならびに熱時効の影響について検討した。

得られた結果を要約すると以下の通りである。

- (1) 受け入れ材の引張特性を比較すると Mod. 9Cr-1Mo鋼と9Cr-1Mo-Nb-V鋼は、ほぼ同等の強度を示した。9Cr-2Mo鋼は、これらと比較すると低い値であった。
- (2) Mod. 9Cr-1Mo鋼では、引張強度にヒート間の差異が見られた。これは、熱処理条件の違いが原因していると考えられる。
- (3) いずれの鋼種も厚さ方向（Z）の引張強度は、主鍛造方向（L）および主鍛造方向と直角方向（C）のそれと比較すると低くなる傾向が認められたが、その程度は工学的に小さなものであった。これ以外では、試料採取位置による引張特性への有意な差は見られなかった。
- (4) 熱時効の引張強度は、Mod. 9Cr-1Mo鋼（F 4）および9Cr-1Mo-Nb-V鋼（G 3）では、多少のバラツキはあるが受け入れ材とほぼ同等であった。9Cr-2Mo鋼（H 6）に関しては受け入れ材よりも若干低い値となった。また、破断伸びおよび絞りに関して Mod. 9Cr-1Mo鋼（F 4）と9Cr-1Mo-Nb-V鋼（G 3）は受け入れ材と有意な差は認められなかった。しかし、Mod. 9Cr-1Mo鋼（F 8）については、破断伸びおよび絞りとも受け入れ材よりも熱時効材の方が高い値を示し、9Cr-2Mo鋼（H 6）では、熱時効材の破断伸びが受け入れ材のそれよりも全体的に低い値となった。これは、熱時効に伴う  $Fe_2Mo$  等の析出および凝縮現象によるものと考えられた。
- (5) 3鋼種4ヒートの引張試験結果において、Mod. 9Cr-1Mo鋼（F 4）が最も優れた強度特性を有する事が確認された。実機適用材の選定に関しては、今後実施されるクリープ、衝撃、疲労等の試験結果を総合評価しなければならないと考えられる。
- (6) 鍛鋼品の引張強度は、鋼板および伝熱管のそれと比較すると全体的に低めであるが、材料強度基準（暫定値）の設計降伏点  $S_y$  および設計引張強さ  $S_u$  を満足していた。ただし、Mod. 9Cr-1Mo鋼 F 8 ヒートの 400℃以下および 9Cr-2Mo鋼の熱時効材の一部においては、暫定値を若干下回るものがみられた。

## 謝 辞

終わりに、本試験研究を実施するに際してそのR&Dを推進され業務を統括された元機器構造開発部佐藤部長（現企画部担当役）ならびに前機器構造開発部二瓶部長（現広報室次長）に深甚な謝意を表します。

なお、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」：三菱重工技報 Vol. 22 No.3(1985)
- (3) G. Gunz, F. Pellicani, J. Houis, and B. Duquaire, "Int. Conf. Ferritic Steels 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」：住友金属技報 (1988) Vol. 40 No. 4 P443-452
- (6) 「FBR大型炉用構造材料試験計画-CAPERA計画-」動燃技報, 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 1 (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「高クロムモリブデン鋼も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「高クロム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「高速炉様高温構造設計基準、材料強度基準等」-高度化案- PNC SN9410 89-086 (1989)

Table 1-1 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. JIS 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 1040℃x6hr W. Q 焼き戻し 760℃x6hr A. C								
購入仕様	1. 化学分析 (%)								
	成 分	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
		x100			x1000		x100		
	リードル	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	Nb	Al	N				
	x1000	x100	x1000						
リードル	18/25	6/10	≤40	30/70					
チェック	18/25	6/10	≤40	30/70					
試験及び 検査方法	2. 機械的性質								
	引 張 試 験								
	0.2%耐力	引張強さ	伸 び	絞 り					
	kg/mm <sup>2</sup>	kg/mm <sup>2</sup>	%	%					
	≥ 42	≥ 60	≥ 15	≥ 40					
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. 衝撃試験：JIS Z 2242 5. 硬さ試験：JIS 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：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 1-2 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. JIS 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 1040°C x 10 hr O. Q 焼き戻し 775°C x 8 hr A. C								
購 入 仕 様	1. 化学分析 (%)								
	成 分	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
		x100			x1000		x100		
	レードル	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	Nb	Al	N				
	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								
	引 張 試 験								
0.2%耐力	引張強さ	伸 び	絞 り						
kg/mm <sup>2</sup>	kg/mm <sup>2</sup>	%	%						
≥ 42	≥ 60	≥ 15	≥ 40						
試 験 及 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. 衝撃試験：JIS Z 2242 5. 硬さ試験：JIS 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：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 1-3 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. JIS 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 (%) <table border="1" style="margin: 10px 0;"> <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> </tr> <tr> <th colspan="3">x100</th> <th colspan="2">x1000</th> <th colspan="2">x10</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>リード</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" style="margin: 10px 0;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">成分</th> <th>Mo</th> <th>V</th> <th>Nb</th> <th>Al</th> <th>N</th> </tr> <tr> <th>x10</th> <th>x1000</th> <th>x100</th> <th colspan="2">x1000</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>リード</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" style="margin: 10px 0;"> <thead> <tr> <th colspan="4">引張試験</th> </tr> <tr> <th>0.2%耐力</th> <th>引張強さ</th> <th>伸び</th> <th>絞り</th> </tr> <tr> <th>kg/mm<sup>2</sup></th> <th>kg/mm<sup>2</sup></th> <th>%</th> <th>%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>≥30</td> <td>≥52</td> <td>≥18</td> <td>≥40</td> </tr> </tbody> </table>	成分	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	x100			x1000		x10		リード	≤8	≤50	30/70	≤30	≤30	-	80/100	チェック	≤8	≤50	30/70	≤30	≤30	-	80/100	成分	Mo	V	Nb	Al	N	x10	x1000	x100	x1000		リード	18/22	-	-	-	-	チェック	18/22	-	-	-	-	引張試験				0.2%耐力	引張強さ	伸び	絞り	kg/mm <sup>2</sup>	kg/mm <sup>2</sup>	%	%	≥30	≥52	≥18	≥40
成分	C		Si	Mn	P	S	Ni	Cr																																																															
	x100			x1000		x10																																																																	
リード	≤8	≤50	30/70	≤30	≤30	-	80/100																																																																
チェック	≤8	≤50	30/70	≤30	≤30	-	80/100																																																																
成分	Mo	V	Nb	Al	N																																																																		
	x10	x1000	x100	x1000																																																																			
リード	18/22	-	-	-	-																																																																		
チェック	18/22	-	-	-	-																																																																		
引張試験																																																																							
0.2%耐力	引張強さ	伸び	絞り																																																																				
kg/mm <sup>2</sup>	kg/mm <sup>2</sup>	%	%																																																																				
≥30	≥52	≥18	≥40																																																																				
試験及び検査方法	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. 衝撃試験：JIS Z 2242 5. 硬さ試験：JIS 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：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 1-4 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. JIS 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 1050℃x4hr W. Q 焼き戻し 750℃x5hr A. C																																				
購入仕様	1. 化学分析 (%)																																				
	<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>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>		成 分	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	x100			x1000		x100			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	C		Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo																											
		x100			x1000		x100																														
	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																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">成 分</th> <th>V</th> <th>Nb</th> <th>Al</th> <th>N</th> </tr> <tr> <th colspan="2">x100</th> <th colspan="2">x1000</th> </tr> </thead> <tbody> <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>		成 分	V	Nb	Al	N	x100		x1000		レードル	15/20	4/5	5/25	≤15	チェック	18/25	6/10	≤40	30/70																	
成 分	V		Nb	Al	N																																
	x100		x1000																																		
レードル	15/20	4/5	5/25	≤15																																	
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</th> <th>引張強さ</th> <th>伸 び</th> <th>絞 り</th> </tr> <tr> <th>kg/mm<sup>2</sup></th> <th>kg/mm<sup>2</sup></th> <th>%</th> <th>%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>≥42</td> <td>≥60</td> <td>≥20</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>		引張試験				0.2%耐力	引張強さ	伸 び	絞 り	kg/mm <sup>2</sup>	kg/mm <sup>2</sup>	%	%	≥42	≥60	≥20	-																				
引張試験																																					
0.2%耐力	引張強さ	伸 び	絞 り																																		
kg/mm <sup>2</sup>	kg/mm <sup>2</sup>	%	%																																		
≥42	≥60	≥20	-																																		
試験及び 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. 衝撃試験：JIS Z 2242 5. 硬さ試験：JIS 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：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 1-5 Manufacturing Process of Mod.9Cr-1Mo Steel Forging. (F4)

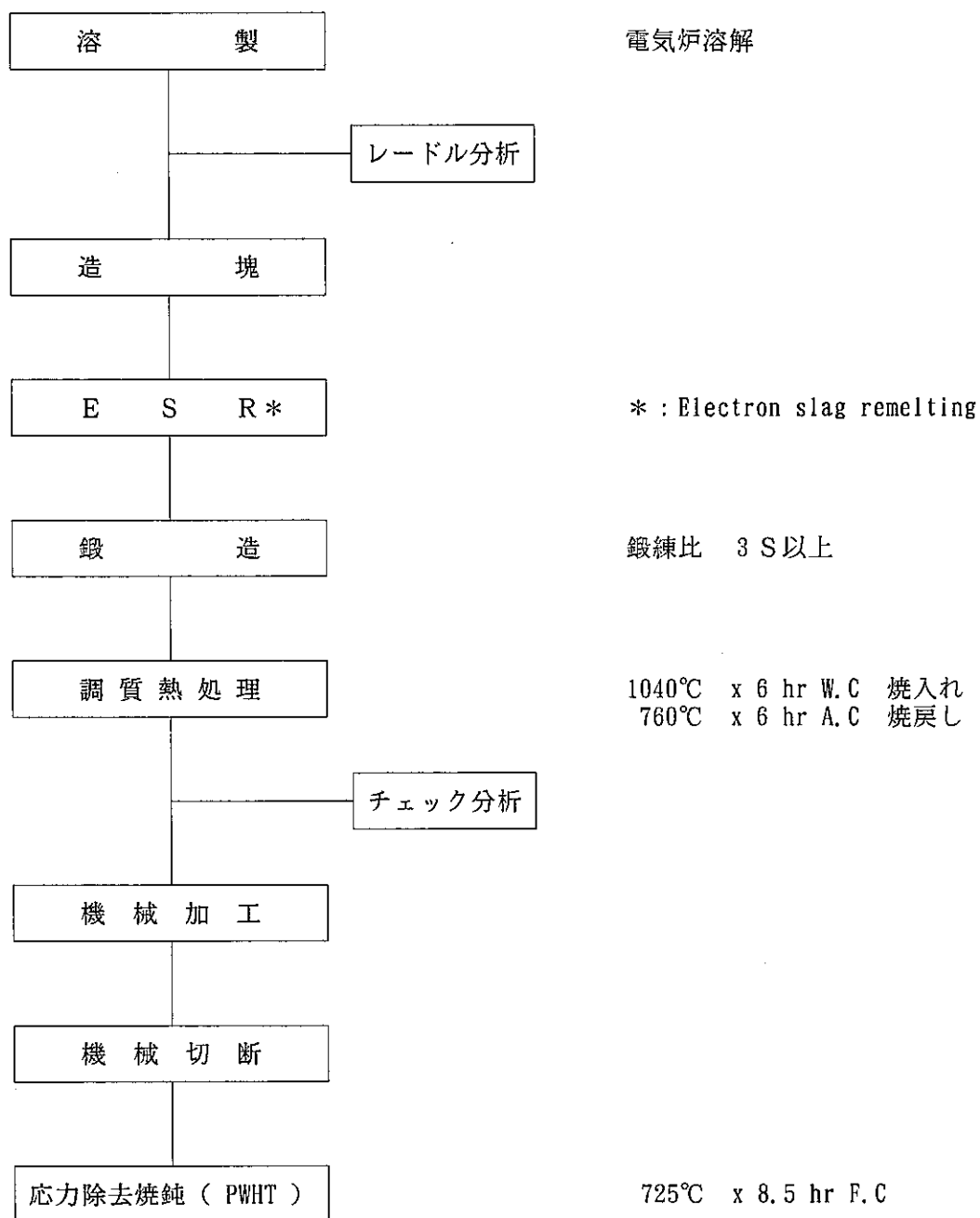


Table 1-6 Manufacturing Process of Mod.9Cr-1Mo Steel Forging. (F8)

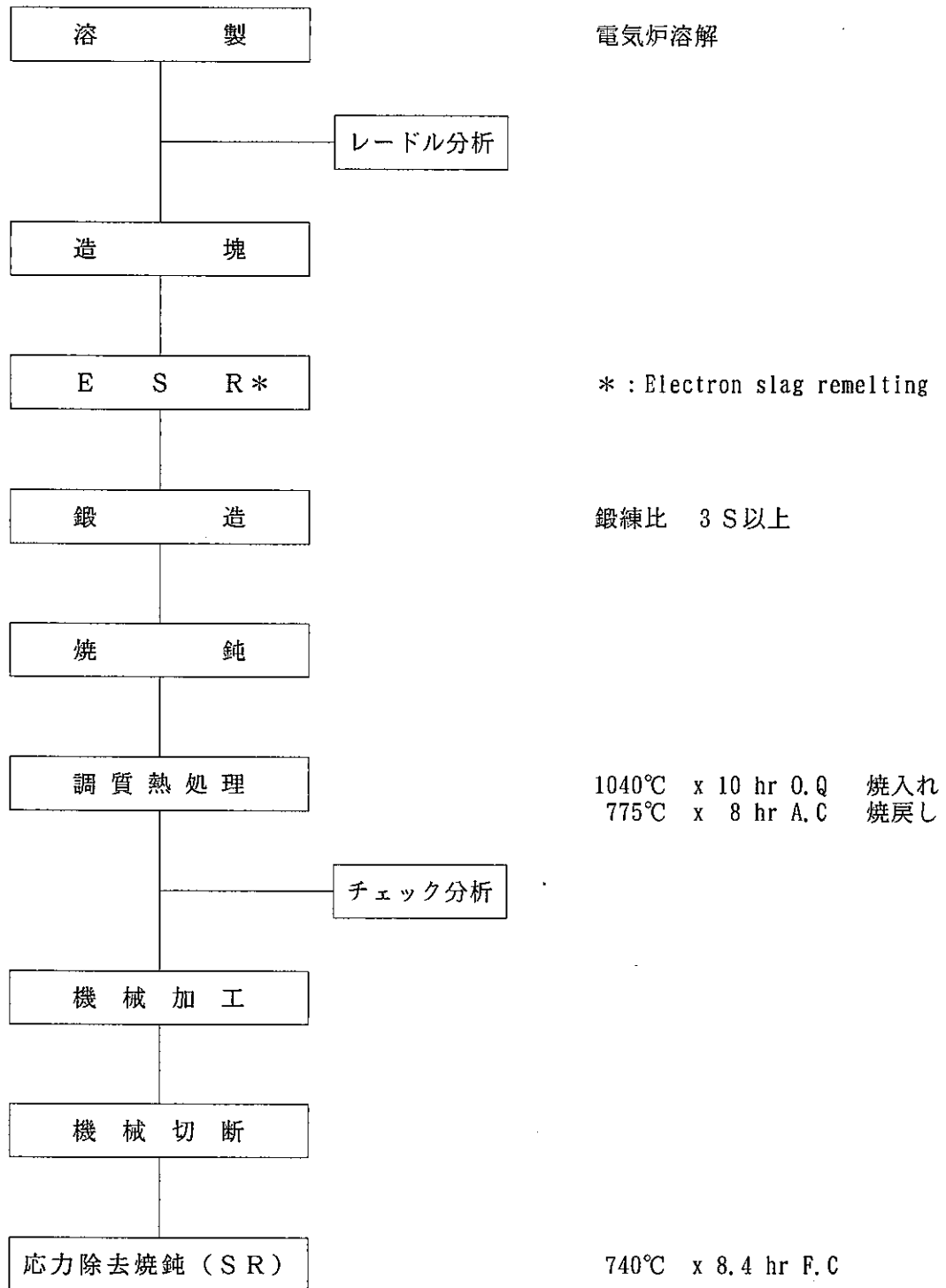


Table 1-7 Manufacturing Process of 9Cr-2Mo Steel Forging. (H6)

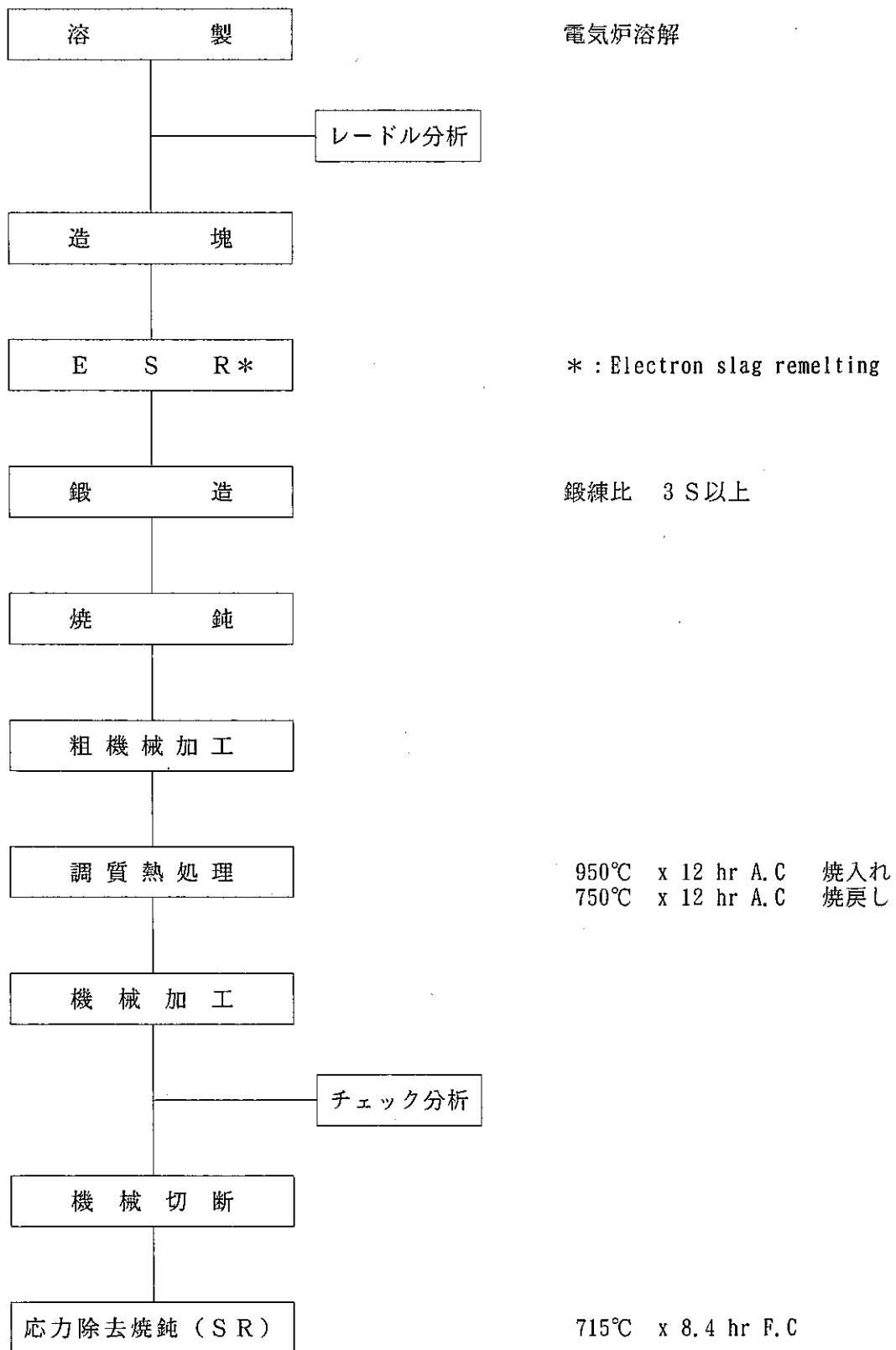


Table 1-8 Manufacturing Process of 9Cr-Mo-Nb-V Steel Forging. (G3)

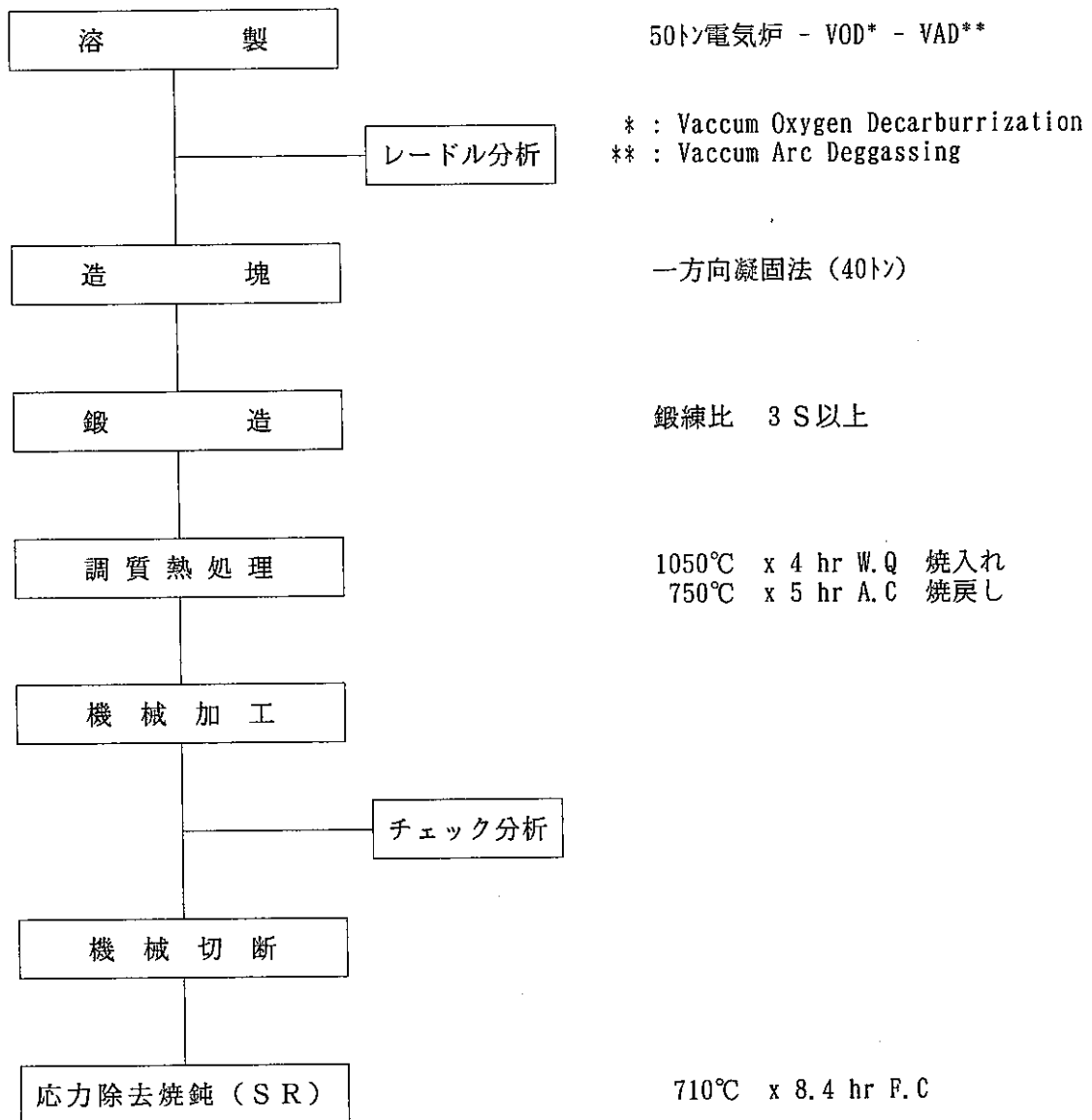


Table 1-9 Chemical Composition of 9Cr-Mo Steel Forging.

Materials	Heat No.	Thickness (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	F 4	250	725°C×8.4h 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	F 8	280	740°C×8.4h 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	H 6	250	715°C×8.4h 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	G 3	250	710°C×8.4h 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 : Without S R				B : With S R				A	B	
			Y.S	T.S	E.L	R.A	Y.S	T.S	E.L	R.A	vEo °C		
Mod. 9Cr-1Mo	F 4	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	F 8	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	H 6	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	G 3	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		

記号 Y.S : 0.2% 耐力 (kg / mm<sup>2</sup>) T.S : 引張強さ (kg / mm<sup>2</sup>)  
 E.L : 破断伸び (%) R.A : 絞り (%)  
 vEo °C : 0 °C における衝撃吸収エネルギー (kg f.m) の平均値

Table 2-1 Tensile Test Results of Mod.9Cr-1Mo (F4) Steel Forging (I)

試験片採取位置			履歴条件	温度 ℃	時間 hr	試験片 記号	試験温度 ℃	0.2%耐力 kg f/mm <sup>2</sup>	引張強度 kg f/mm <sup>2</sup>	伸び 5D%	絞り %	破断位置	降伏比 %
採取部位	採取位置	採取方向											
表面直下	中心部	L	受入材	-	-	EMB6E1	RT	46.8	64.7	26.6	74.7	A	72.3
						EMB6E2	500	34.4	44.0	23.0	82.1	A	78.2
						EMB6E3	550	31.6	38.3	24.4	88.4	A	82.5
表面直下	中心部	L	時効材	500	3000	EMB6E6	500	35.7	44.2	23.2	81.0	A	80.8
						EMB6E7	550	31.8	38.9	29.0	86.5	A	81.7
表面直下	外周部	L	受入材	-	-	EMB6A0	RT	47.4	65.2	25.2	74.7	A	72.7
						EMB6A1	500	35.8	44.3	23.0	81.7	A	80.8
						EMB6A2	550	31.5	38.4	23.2	88.6	A	82.0
表面直下	外周部	L	時効材	500	3000	EMB6A5	500	35.8	44.2	23.2	81.7	A	81.0
						EMB6A6	550	31.8	38.8	25.8	87.4	A	82.0
表面下 t/4	中心部	L	受入材	-	-	EMB6E8	RT	46.9	64.8	25.6	74.5	A	72.4
						EMB6E9	500	35.3	44.1	22.8	81.1	A	80.0
						EMB6F0	550	31.9	38.8	25.4	86.7	A	82.2
		C				EMB6G3	RT	44.8	64.5	25.8	75.0	A	69.5
						EMB6G4	500	35.4	43.5	24.2	81.6	A	81.4
						EMB6G5	550	31.2	38.6	25.2	87.5	A	80.8
表面下 t/4	中心部	Z	受入材	-	-	EMB6C1	RT	47.4	64.8	24.8	72.4	A	73.1
						EMB6C2	200	42.5	56.0	22.2	75.5	A	75.9
						EMB6C3	300	41.4	53.2	21.0	75.0	A	77.8
						EMB6C4	400	40.2	50.0	17.0	74.5	A	80.4
						EMB6C5	500	35.5	44.1	23.0	79.5	A	80.5
						EMB6C6	550	31.6	38.6	29.0	86.5	A	81.9
						EMB6C7	600	25.1	32.8	22.8	90.8	B	76.5
表面下 t/2	中心部	L	受入材	-	-	EMB6F1	RT	46.7	64.9	26.6	76.4	A	72.0
						EMB6F2	200	42.2	56.3	21.2	77.9	A	75.0
						EMB6F3	300	41.5	53.5	19.4	76.9	A	77.6
						EMB6F4	400	39.3	50.5	18.8	76.0	A	77.8
						EMB6F5	500	35.7	43.9	20.8	81.1	A	81.3
						EMB6F6	550	31.6	39.0	23.8	87.4	A	81.0
						EMB6F7	600	26.1	32.8	32.6	93.0	A	79.6
表面下 t/2	中心部	L	時効材	500	3000	EMB6F8	500	36.3	44.6	23.6	81.3	A	81.4
						EMB6F9	550	31.8	38.8	29.6	87.5	A	82.0



Table 2-2 Tensile Test Results of Mod.9Cr-1Mo (F4) Steel Forging (2)

試験片採取位置			履歴条件	温度 ℃	時間 hr	試験片 記号	試験温度 ℃	0.2%耐力 kg f/mm <sup>2</sup>	引張強度 kg f/mm <sup>2</sup>	伸び 5D%	絞り %	破断位置	降伏比 %
採取部位	採取位置	採取方向											
表面下 t/2	中心部	Z	受入材	-	-	EME6D1	RT	47.0	64.4	23.8	74.5	A	73.0
						EME6D2	200	42.8	56.5	21.2	76.7	A	75.8
						EME6D3	300	41.6	53.3	19.0	76.2	A	78.0
						EME6D4	400	39.7	50.2	18.2	74.5	A	79.1
						EME6D5	500	35.8	43.9	22.8	80.6	A	81.5
						EME6D6	550	31.8	38.6	23.4	78.1	A	82.4
						EME6D7	600	26.4	33.3	26.2	91.9	A	79.3
表面下 t/2	中心部	Z	時効材	500	3000	EME6D9	500	36.0	44.3	23.0	79.9	A	81.3
						EME6E0	550	31.8	38.6	26.4	86.5	A	82.4
表面下 t/2	外周部	L	受入材	-	-	EME6A7	RT	46.7	64.0	26.6	76.0	A	73.0
						EME6A8	500	35.3	43.5	23.2	82.9	A	81.1
						EME6A9	550	31.4	38.4	30.0	88.1	A	81.8
表面下 t/2	外周部	L	時効材	500	3000	EME6B2	500	35.3	44.0	23.8	81.5	A	80.9
						EME6B3	550	31.8	38.1	25.4	88.1	A	83.5
表面下 t/2	外周部	Z	受入材	-	-	EME6B4	RT	47.5	65.0	24.2	72.6	A	73.1
						EME6B5	500	35.4	44.2	21.0	79.8	A	80.1
						EME6B6	550	32.8	39.2	27.0	78.7	A	83.7
表面下 t/2	外周部	Z	時効材	500	3000	EME6B9	500	36.1	44.5	23.0	76.0	A	81.1
						EME6C0	550	31.8	38.7	29.2	85.9	A	82.2
表面下3t/4	中心部	L	受入材	-	-	EME6G0	RT	47.2	64.9	25.8	75.0	A	72.7
						EME6G1	500	35.9	44.3	21.8	80.4	A	81.0
						EME6G2	550	31.8	39.0	22.6	87.0	A	81.5
表面下3t/4	中心部	C	受入材	-	-	EME6G6	RT	47.1	64.7	25.4	76.7	A	72.8
						EME6G7	500	33.8	44.2	22.8	81.3	A	76.5
						EME6G8	550	31.8	38.8	23.6	87.4	A	82.0

Table 2-3 Tensile Test Results of Mod.9Cr-1Mo (F8) Steel Forging (1)

試験片採取位置			履歴条件	温度 ℃	時間 hr	試験片 記号	試験温度 ℃	0.2%耐力 kg f/mm <sup>2</sup>	引張強度 kg f/mm <sup>2</sup>	伸び 5D%	絞り %	破断位置	降伏比 %
採取部位	採取位置	採取方向											
表面直下	中心部	L	受入材	-	-	EYB6E1	RT	43.3	61.8	27.2	73.0	A	70.1
						EYB6E2	500	33.2	43.3	27.2	88.0	A	76.7
						EYB6E3	550	29.9	37.3	24.2	86.0	A	80.2
表面直下	中心部	L	時効材	500	3000	EYB6E6	500	33.2	42.3	25.4	79.6	A	78.5
						EYB6E7	550	29.5	36.0	30.8	87.7	A	81.9
表面直下	外周部	L	受入材	-	-	EYB6A0	RT	43.0	61.1	27.6	75.0	A	70.4
						EYB6A1	500	31.8	43.2	22.4	78.0	A	73.6
						EYB6A2	550	29.5	37.2	24.8	86.0	A	79.3
表面直下	外周部	L	時効材	500	3000	EYB6A5	500	32.5	42.1	26.8	80.4	A	77.2
						EYB6A6	550	29.1	35.8	33.0	87.9	A	81.3
表面下 t/4	中心部	L	受入材	-	-	EYB6E8	RT	41.8	60.0	28.2	74.0	A	69.7
						EYB6E9	500	32.4	42.0	22.0	78.0	A	77.1
						EYB6F0	550	28.7	36.2	24.4	84.0	A	79.3
		C				EYB6G3	RT	42.1	60.8	28.0	75.0	A	69.2
						EYB6G4	500	32.4	42.7	21.6	78.0	A	75.9
EYB6G5	550	29.6	36.7	25.0	86.0	A	80.7						
表面下 t/4	中心部	Z	受入材	-	-	EYB6C1	RT	41.7	59.8	26.0	73.0	A	69.7
						EYB6C2	200	37.6	52.2	24.4	75.0	A	72.0
						EYB6C3	300	36.5	49.3	22.4	74.0	A	74.0
						EYB6C4	400	35.3	45.8	19.8	72.0	A	77.1
						EYB6C5	500	31.8	42.0	22.0	76.0	A	75.7
						EYB6C6	550	29.0	36.1	24.0	83.0	A	80.3
						EYB6C7	600	23.9	30.0	28.2	91.0	A	79.7
表面下 t/2	中心部	L	受入材	-	-	EYB6F1	RT	40.8	59.6	27.8	74.0	A	68.5
						EYB6F2	200	36.6	51.6	24.0	74.0	A	70.9
						EYB6F3	300	35.6	48.8	22.4	75.0	A	73.0
						EYB6F4	400	34.3	46.5	20.8	73.0	A	73.8
						EYB6F5	500	31.7	42.0	21.6	76.0	A	75.5
						EYB6F6	550	28.5	36.1	24.8	84.0	A	78.9
						EYB6F7	600	24.3	30.1	27.8	91.0	A	80.7
表面下 t/2	中心部	L	時効材	500	3000	EYB6F8	500	31.4	41.1	26.5	78.5	A	76.4
						EYB6F9	550	28.2	34.7	32.6	87.0	A	81.3

Table 2-4 Tensile Test Results of Mod.9Cr-1Mo (F8) Steel Forging (2)

試験片採取位置			履歴条件	温度 ℃	時間 hr	試験片 記号	試験温度 ℃	0.2%耐力 kg f/mm <sup>2</sup>	引張強度 kg f/mm <sup>2</sup>	伸び 5D%	絞り %	破断位置	降伏比 %
採取部位	採取位置	採取方向											
表面下 t/2	中心部	Z	受入材	-	-	EYE6D1	RT	40.7	58.9	28.0	72.0	A	69.1
						EYE6D2	200	36.5	51.1	23.8	72.0	A	71.4
						EYE6D3	300	35.4	48.3	22.0	73.0	A	73.3
						EYE6D4	400	34.5	45.8	20.0	71.0	A	75.3
						EYE6D5	500	31.1	40.8	22.0	74.0	A	76.2
						EYE6D6	550	28.2	36.0	24.0	80.0	A	78.3
						EYE6D7	600	22.7	29.6	27.8	91.0	A	76.7
表面下 t/2	中心部	Z	時効材	500	3000	EYE6D9	500	30.9	40.4	26.1	75.5	A	76.5
						EYE6E0	550	27.9	34.3	32.4	84.2	A	81.3
表面下 t/2	外周部	L	受入材	-	-	EYE6A7	RT	42.0	60.4	27.8	74.0	A	69.5
						EYE6A8	500	32.3	42.1	23.0	79.0	A	76.7
						EYE6A9	550	29.6	37.2	24.0	84.0	A	79.6
表面下 t/2	外周部	L	時効材	500	3000	EYE6B2	500	32.2	41.8	27.5	80.1	A	77.0
						EYE6B3	550	28.6	35.5	31.8	87.2	A	80.6
表面下 t/2	外周部	Z	受入材	-	-	EYE6B4	RT	42.0	60.5	27.8	74.0	A	69.4
						EYE6B5	500	31.8	42.0	22.8	78.0	A	75.7
						EYE6B6	550	28.8	36.3	24.8	85.0	A	79.3
表面下 t/2	外周部	Z	時効材	500	3000	EYE6B9	500	32.2	41.8	26.8	79.5	A	77.0
						EYE6C0	550	28.8	35.4	32.9	87.4	A	81.4
表面下3t/4	中心部	L	受入材	-	-	EYE6G0	RT	41.4	59.6	28.4	74.0	A	69.5
						EYE6G1	500	32.3	41.4	22.0	77.0	A	78.0
						EYE6G2	550	29.2	36.2	25.0	85.0	A	80.7
表面下3t/4	中心部	C	受入材	-	-	EYE6G6	RT	42.1	60.4	28.6	75.0	A	69.7
						EYE6G7	500	32.4	42.0	22.0	80.0	A	77.1
						EYE6G8	550	29.2	36.4	25.4	87.0	A	80.2

Table 2-5 Tensile Test Results of 9Cr-2Mo (H6) Steel Forging (1)

試験片採取位置			履歴条件	温度 ℃	時間 hr	試験片 記号	試験温度 ℃	0.2%耐力 kg f/mm <sup>2</sup>	引張強度 kg f/mm <sup>2</sup>	伸び 5D%	絞り %	破断位置	降伏比 %
採取部位	採取位置	採取方向											
表面直下	中心部	L	受入材	-	-	EPE6E1	RT	37.4	56.7	29.6	75.5	A	66.0
						EPE6E2	500	29.0	39.3	25.2	79.3	A	73.8
						EPE6E3	550	27.1	34.6	31.2	84.2	A	78.3
表面直下	中心部	L	時効材	500 550	3000 3000	EPE6E6	500	29.0	38.6	24.0	79.0	A	75.1
						EPE6E7	550	25.8	33.5	32.4	84.0	A	77.0
表面直下	外周部	L	受入材	-	-	EPE6A0	RT	37.6	56.1	29.2	77.9	A	67.0
						EPE6A1	500	28.5	38.9	25.2	80.2	A	73.3
						EPE6A2	550	26.2	34.3	32.8	84.9	A	76.4
表面直下	外周部	L	時効材	500 550	3000 3000	EPE6A5	500	28.1	38.3	24.2	79.8	A	73.4
						EPE6A6	550	25.7	32.8	27.0	85.9	A	78.4
表面下 t/4	中心部	L	受入材	-	-	EPE6E8	RT	38.4	57.0	29.0	77.2	A	67.4
						EPE6E9	500	29.5	39.6	25.2	78.8	A	74.5
						EPE6F0	550	27.8	34.8	27.4	83.6	A	79.9
		C				EPE6G3	RT	38.2	56.7	29.2	77.0	A	67.4
						EPE6G4	500	29.3	39.7	24.4	79.0	A	73.8
EPE6G5	550	27.2	34.9	30.6	84.8	A	77.9						
表面下 t/4	中心部	Z	受入材	-	-	EPE6C1	RT	37.4	55.8	27.6	76.7	A	67.0
						EPE6C2	200	33.2	47.6	24.4	76.7	A	69.7
						EPE6C3	300	32.2	44.7	22.4	77.1	A	72.0
						EPE6C4	400	30.8	42.5	22.6	75.0	A	72.5
						EPE6C5	500	28.3	38.1	25.4	77.4	A	74.3
						EPE6C6	550	26.0	34.1	31.0	84.4	A	76.2
						EPE6C7	600	22.9	28.9	34.0	91.0	A	79.2
表面下 t/2	中心部	L	受入材	-	-	EPE6F1	RT	38.2	57.0	29.6	76.5	A	67.0
						EPE6F2	200	33.7	48.6	25.8	76.5	A	69.3
						EPE6F3	300	32.7	45.6	22.6	76.2	A	71.7
						EPE6F4	400	31.4	43.6	22.4	76.5	A	72.0
						EPE6F5	500	29.0	39.8	25.0	78.4	A	72.9
						EPE6F6	550	26.9	35.1	31.0	84.4	A	76.6
						EPE6F7	600	23.3	29.5	40.6	89.8	A	79.0
表面下 t/2	中心部	L	時効材	500 550	3000 3000	EPE6F8	500	28.5	38.8	22.8	79.3	A	73.5
						EPE6F9	550	26.1	33.7	30.0	85.6	A	77.4

Table 2-6 Tensile Test Results of 9Cr-2Mo (H6) Steel Forging (2)

試験片採取位置			履歴条件	温度 ℃	時間 hr	試験片 記号	試験温度 ℃	0.2%耐力 kg f/mm <sup>2</sup>	引張強度 kg f/mm <sup>2</sup>	伸び 5D%	絞り %	破断位置	降伏比 %
採取部位	採取位置	採取方向											
表面下 t/2	中心部	Z	受入材	-	-	EPE6D1	RT	37.4	56.0	28.6	74.0	A	66.8
						EPE6D2	200	33.1	47.6	25.0	76.2	A	69.5
						EPE6D3	300	32.1	44.8	23.0	76.5	A	71.7
						EPE6D4	400	30.8	42.8	22.6	75.5	A	72.0
						EPE6D5	500	28.6	38.9	26.4	78.8	A	73.5
						EPE6D6	550	26.8	34.2	30.6	85.2	A	78.4
						EPE6D7	600	22.5	28.2	50.6	91.3	A	79.8
表面下 t/2	中心部	Z	時効材	500	3000	EPE6D9	500	28.6	38.4	23.0	78.0	A	74.5
						EPE6E0	550	25.7	33.1	30.4	83.6	A	77.6
表面下 t/2	外周部	L	受入材	-	-	EPE6A7	RT	37.5	56.1	29.8	77.6	A	66.8
						EPE6A8	500	28.3	39.3	26.2	79.3	A	72.0
						EPE6A9	550	26.6	34.4	31.2	84.8	A	77.3
表面下 t/2	外周部	L	時効材	500	3000	EPE6B2	500	28.1	38.2	24.2	80.2	A	73.6
						EPE6B3	550	26.0	33.5	27.0	84.4	A	77.6
表面下 t/2	外周部	Z	受入材	-	-	EPE6B4	RT	36.9	55.6	29.2	76.5	A	66.4
						EPE6B5	500	28.3	38.6	25.2	77.9	A	73.3
						EPE6B6	550	26.2	34.3	27.0	84.0	A	76.4
表面下 t/2	外周部	Z	時効材	500	3000	EPE6B9	500	28.0	37.8	24.6	76.5	A	74.1
						EPE6C0	550	25.5	33.1	28.0	85.2	A	77.0
表面下3t/4	中心部	L	受入材	-	-	EPE6G0	RT	38.3	57.1	30.8	76.8	A	67.1
						EPE6G1	500	29.6	39.6	26.1	78.9	A	74.7
						EPE6G2	550	27.3	34.9	31.1	85.2	A	78.2
表面下3t/4	中心部	C	受入材	-	-	EPE6G6	RT	38.3	56.6	29.8	75.0	A	67.7
						EPE6G7	500	29.2	39.4	25.6	78.2	A	74.1
						EPE6G8	550	27.3	34.9	31.6	84.9	A	78.2

Table 2-7 Tensile Test Results of 9Cr-1Mo-Nb-V (G3) Steel Forging (1)

試験片採取位置			履歴条件	温度 ℃	時間 hr	試験片 記号	試験温度 ℃	0.2%耐力 kg f/mm <sup>2</sup>	引張強度 kg f/mm <sup>2</sup>	伸び 5D%	絞り %	破断位置	降伏比 %
採取部位	採取位置	採取方向											
表面直下	中心部	L	受入材	-	-	ENE6E1	RT	50.2	63.1	21.0	75.5	A	79.6
						ENE6E2	500	38.3	43.5	18.0	77.0	A	88.0
						ENE6E3	550	33.5	39.2	21.0	86.7	A	85.5
表面直下	中心部	L	時効材	500 550	3000 3000	ENE6E6	500	38.2	43.4	17.2	80.2	A	88.0
						ENE6E7	550	33.4	38.9	21.0	85.6	A	85.9
表面直下	外周部	L	受入材	-	-	ENE6A0	RT	52.1	64.4	20.6	75.5	A	80.9
						ENE6A1	500	39.5	44.7	17.0	73.5	A	88.4
						ENE6A2	550	34.4	39.9	21.0	87.8	A	86.2
表面直下	外周部	L	時効材	500 550	3000 3000	ENE6A5	500	39.8	45.0	16.8	77.6	A	88.4
						ENE6A6	550	34.8	40.3	19.8	86.7	A	86.4
表面下 t/4	中心部	L	受入材	-	-	ENE6E8	RT	49.9	62.9	21.2	73.5	A	79.3
						ENE6E9	500	38.5	43.5	17.0	72.4	A	88.5
						ENE6F0	550	33.7	39.1	22.4	87.4	A	86.2
		C				ENE6G3	RT	50.2	63.3	20.4	70.3	A	79.3
						ENE6G4	500	38.5	43.9	17.4	79.8	A	87.7
ENE6G5	550	34.0	39.5	23.2	87.8	A	86.1						
表面下 t/4	中心部	Z	受入材	-	-	ENE6C1	RT	50.1	62.5	19.0	70.6	A	80.2
						ENE6C2	200	46.0	54.5	17.0	73.5	A	84.4
						ENE6C3	300	44.4	51.3	15.0	70.3	A	86.5
						ENE6C4	400	42.2	48.4	15.0	67.5	A	87.2
						ENE6C5	500	38.4	43.4	16.6	76.0	A	88.5
						ENE6C6	550	32.8	38.5	23.0	83.4	A	85.2
						ENE6C7	600	26.1	33.3	32.0	91.3	A	78.4
表面下 t/2	中心部	L	受入材	-	-	ENE6F1	RT	49.6	63.1	21.0	78.8	A	78.6
						ENE6F2	200	45.5	55.0	18.8	79.3	A	82.7
						ENE6F3	300	44.1	51.7	17.0	73.0	A	85.3
						ENE6F4	400	42.1	48.8	15.6	71.9	A	86.3
						ENE6F5	500	38.2	43.2	18.0	79.3	A	87.0
						ENE6F6	550	33.9	39.5	23.2	87.0	A	85.8
						ENE6F7	600	26.1	33.7	25.2	91.6	A	77.4
表面下 t/2	中心部	L	時効材	500 550	3000 3000	ENE6F8	500	37.9	43.4	18.8	78.3	A	87.3
						ENE6F9	550	32.9	38.9	21.2	87.0	A	84.6

Table 2-8 Tensile Test Results of 9Cr-1Mo-Nb-V (G3) Steel Forging (2)

試験片採取位置			履歴条件	温度 ℃	時間 hr	試験片 記号	試験温度 ℃	0.2%耐力 kg f/mm <sup>2</sup>	引張強度 kg f/mm <sup>2</sup>	伸び 5D%	絞り %	破断位置	降伏比 %
採取部位	採取位置	採取方向											
表面下 t/2	中心部	Z	受入材	-	-	ENE6D1	RT	48.4	61.5	21.2	73.5	A	78.7
						ENE6D2	200	44.3	53.6	19.2	73.0	A	82.6
						ENE6D3	300	43.2	50.5	17.0	74.0	A	85.5
						ENE6D4	400	41.2	47.7	15.6	67.5	A	86.4
						ENE6D5	500	37.5	42.8	17.4	73.5	A	87.6
						ENE6D6	550	32.5	38.2	20.8	83.6	A	85.1
						ENE6D7	600	25.5	32.5	24.4	89.8	A	78.5
表面下 t/2	中心部	Z	時効材	500	3000	ENE6D9	500	36.7	42.5	18.2	77.4	A	86.4
						ENE6E0	550	32.5	38.3	19.6	81.9	A	84.9
表面下 t/2	外周部	L	受入材	-	-	ENE6A7	RT	51.1	64.4	21.0	74.0	A	79.3
						ENE6A8	500	39.0	44.7	18.8	81.1	A	87.2
						ENE6A9	550	34.8	40.2	20.2	86.7	A	86.6
表面下 t/2	外周部	L	時効材	500	3000	ENE6B2	500	38.2	44.0	17.4	77.9	A	86.8
						ENE6B3	550	34.0	39.7	21.0	88.1	A	85.6
表面下 t/2	外周部	Z	受入材	-	-	ENE6B4	RT	48.5	62.1	21.6	70.3	A	78.1
						ENE6B5	500	37.7	43.3	18.0	70.3	A	87.1
						ENE6B6	550	32.4	38.3	21.2	86.3	A	84.6
表面下 t/2	外周部	Z	時効材	500	3000	ENE6B9	500	36.9	42.5	17.6	78.4	A	86.8
						ENE6C0	550	32.3	38.1	21.4	84.0	A	84.8
表面下3t/4	中心部	L	受入材	-	-	ENE6G0	RT	50.6	63.7	21.2	73.2	A	79.4
						ENE6G1	500	38.7	44.3	17.4	80.2	A	87.4
						ENE6G2	550	33.7	39.2	19.6	86.3	A	86.0
表面下3t/4	中心部	C	受入材	-	-	ENE6G6	RT	50.9	66.8	20.4	72.7	A	76.2
						ENE6G7	500	38.9	44.2	17.4	78.6	A	88.0
						ENE6G8	550	34.1	39.9	21.2	87.4	A	85.5

Tensile Test Specimen

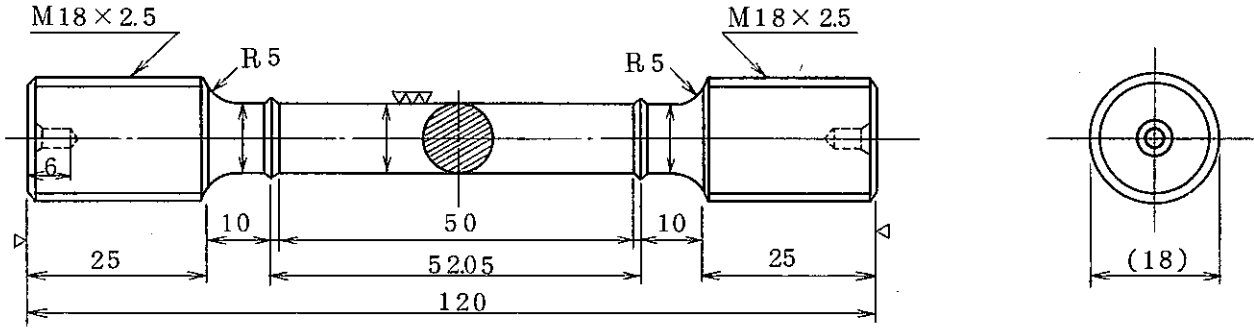


Fig.1-1 Size and Configuration of the Test Specimen.



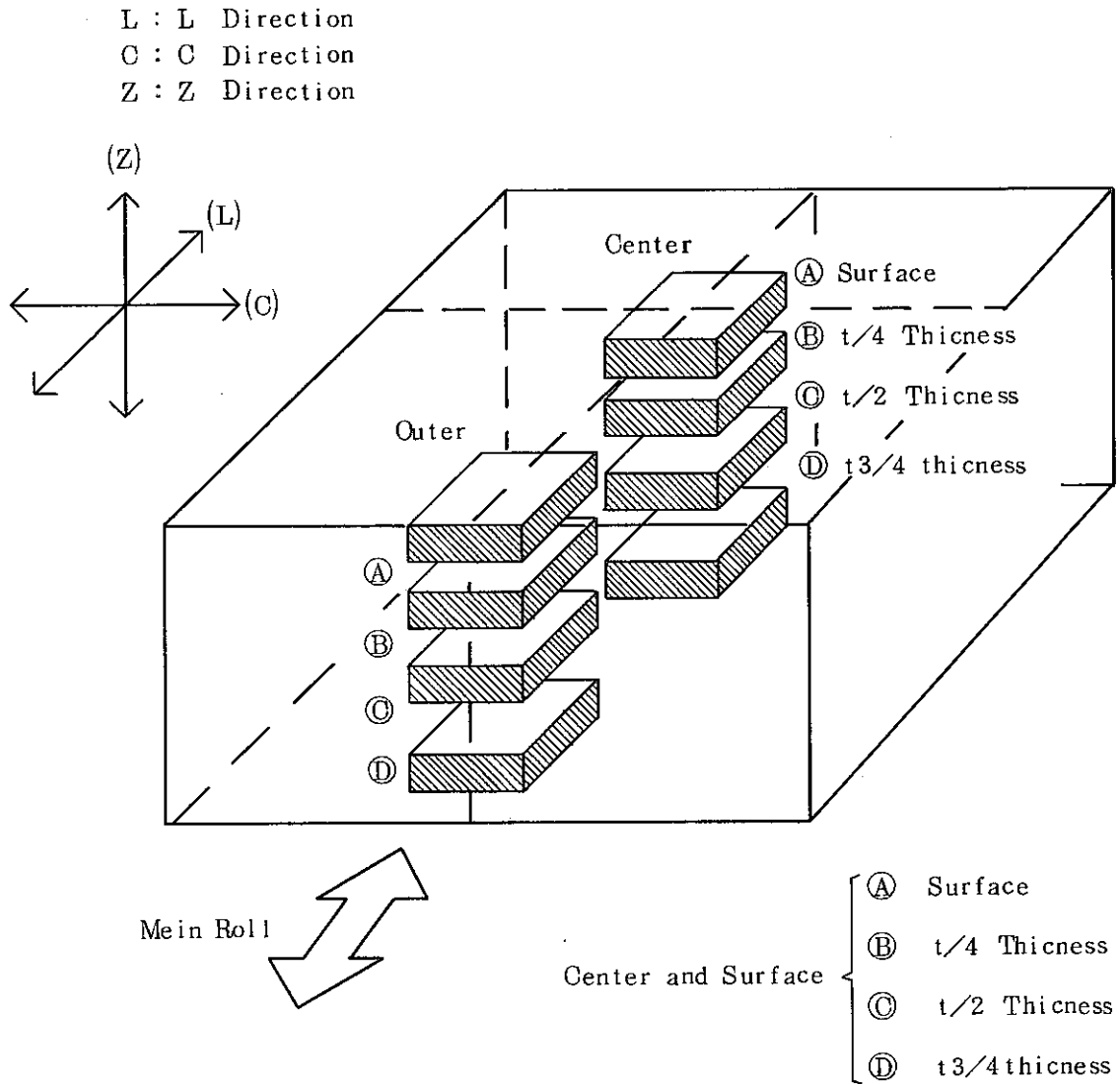


Fig.1-2 Sampling Method of Tensile Specimens of 9Cr-Mo Steel Forging.

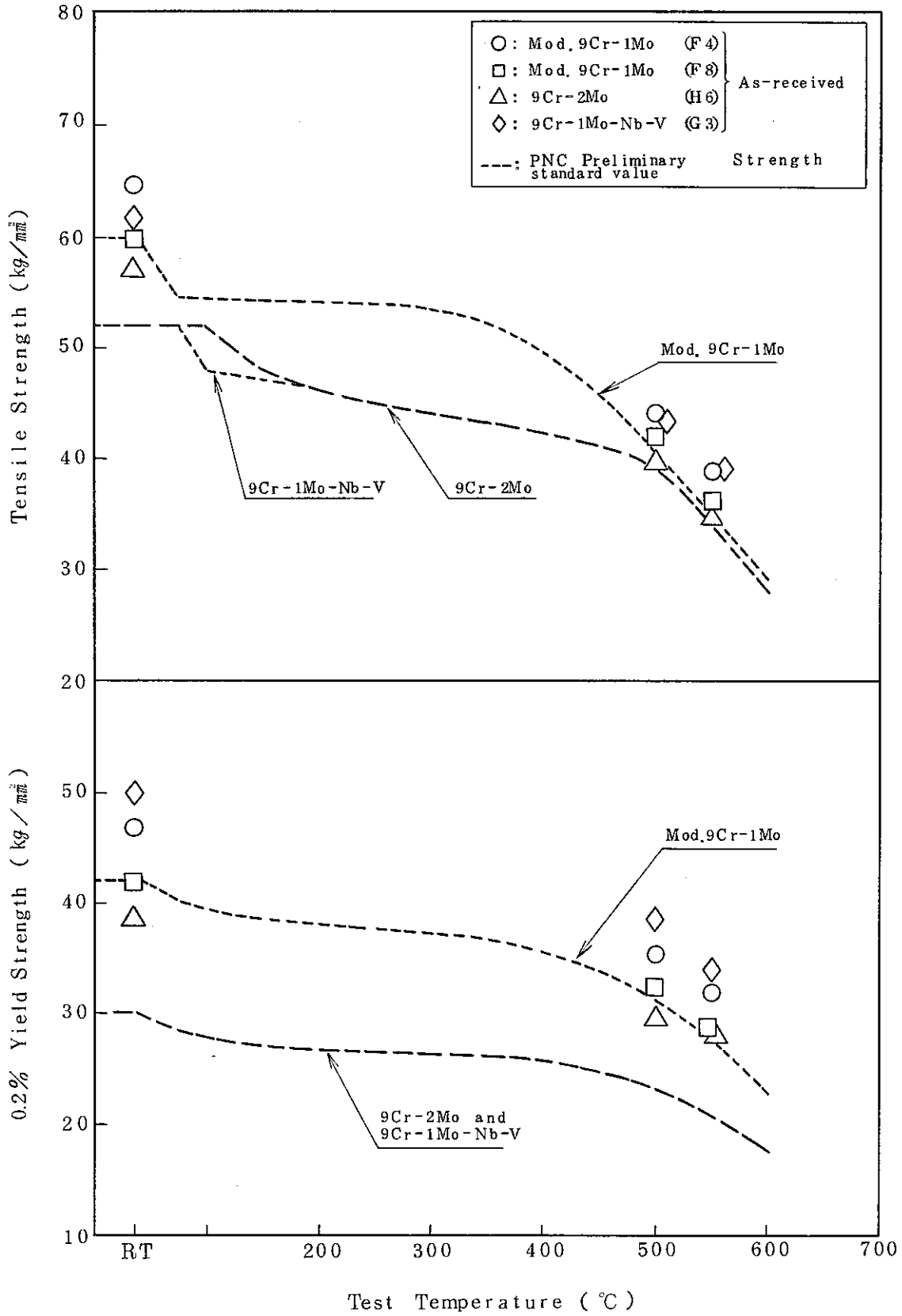


Fig.2-1 Effect of Temperature on Tensile Properties of Various 9Cr-Mo Steels forgings. (Center, t/4 Thickness, L)

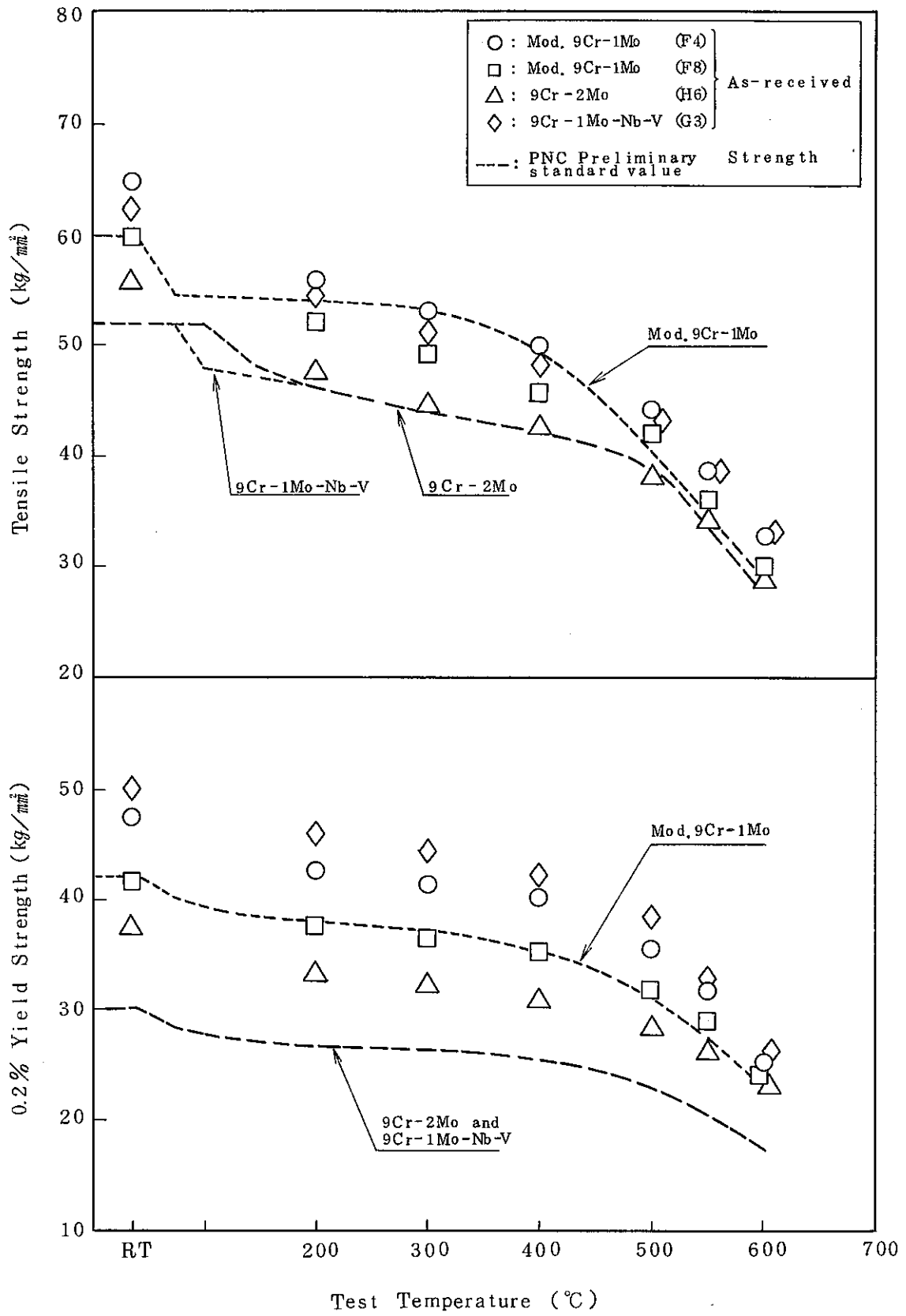


Fig.2-2 Effect of Temperature on Tensile Properties  
of Various 9Cr-Mo Steels forgings. (Center, t/4 Thickness, Z)

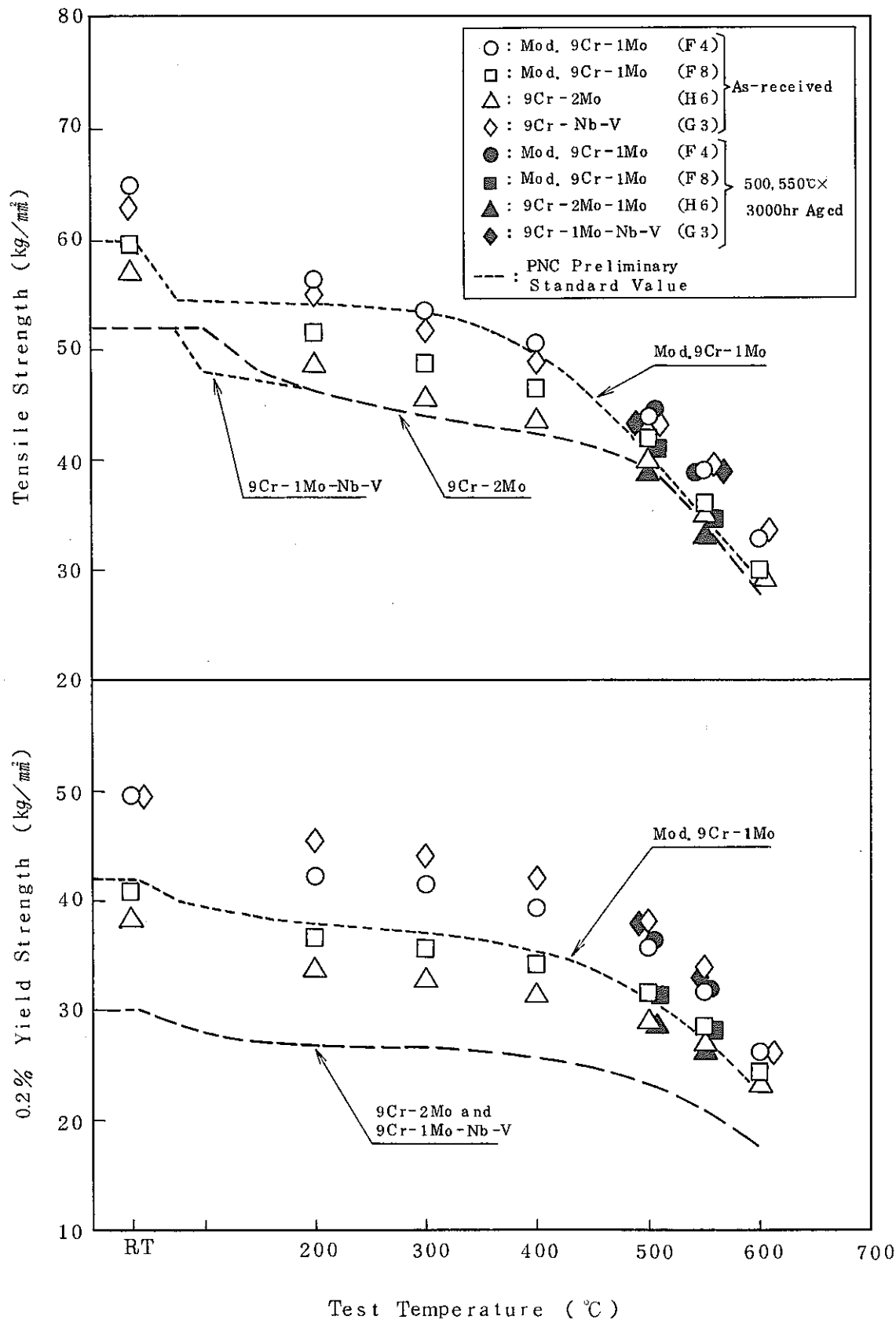


Fig.2-3 Effect of Temperature on Tensile Properties of Various 9Cr-Mo Steels forgings. (Center, t/2 Thickness, L)

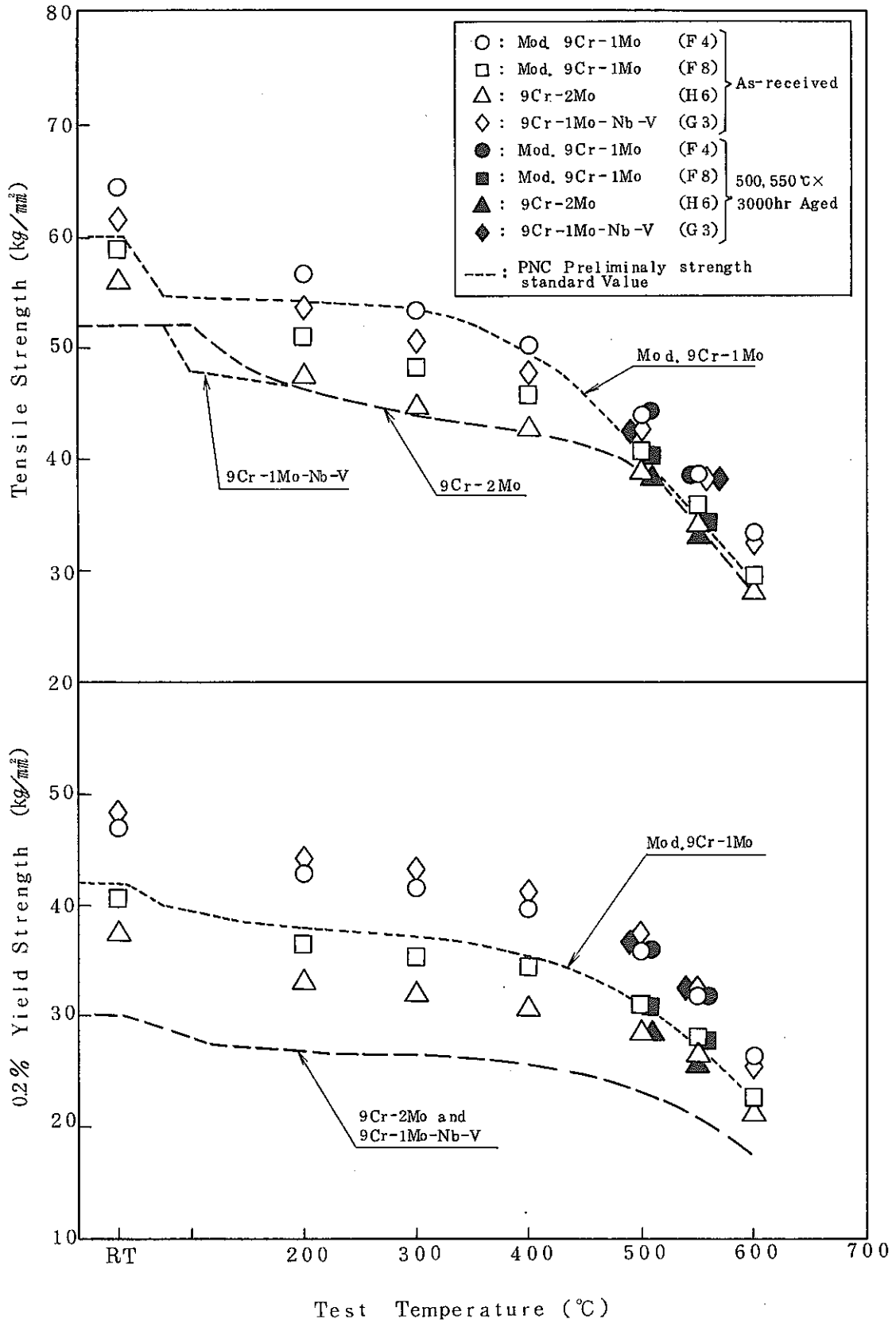


Fig.2-4 Effect of Temperature on Tensile Properties of Various 9Cr-Mo Steels forgings. (Center, t/2 Thickness, Z)

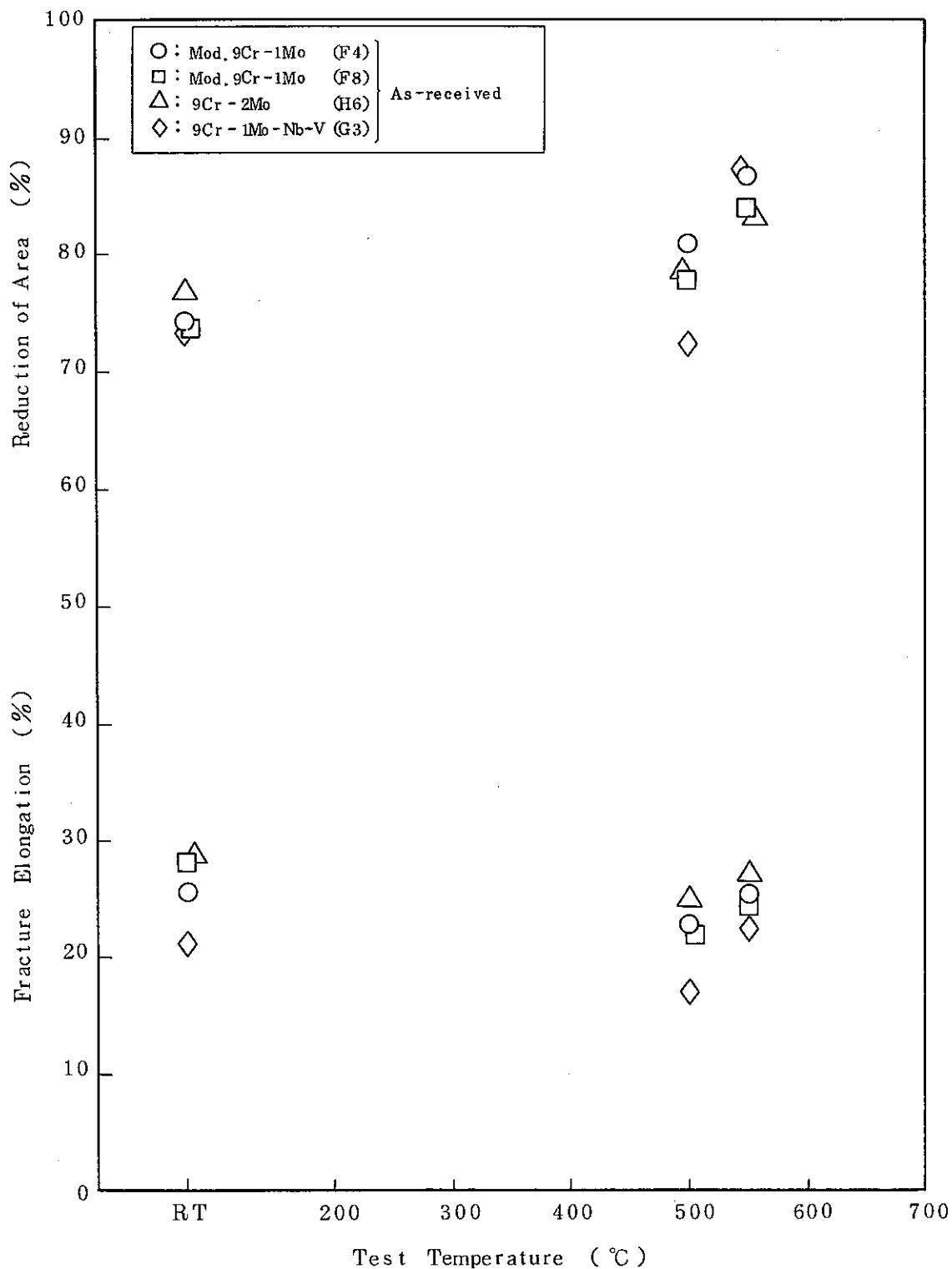


Fig.2-5 Effect of Temperature on Tensile Ductilities  
of Various 9Cr-Mo Steels forgings. (Center, t/4 Thickness, L)

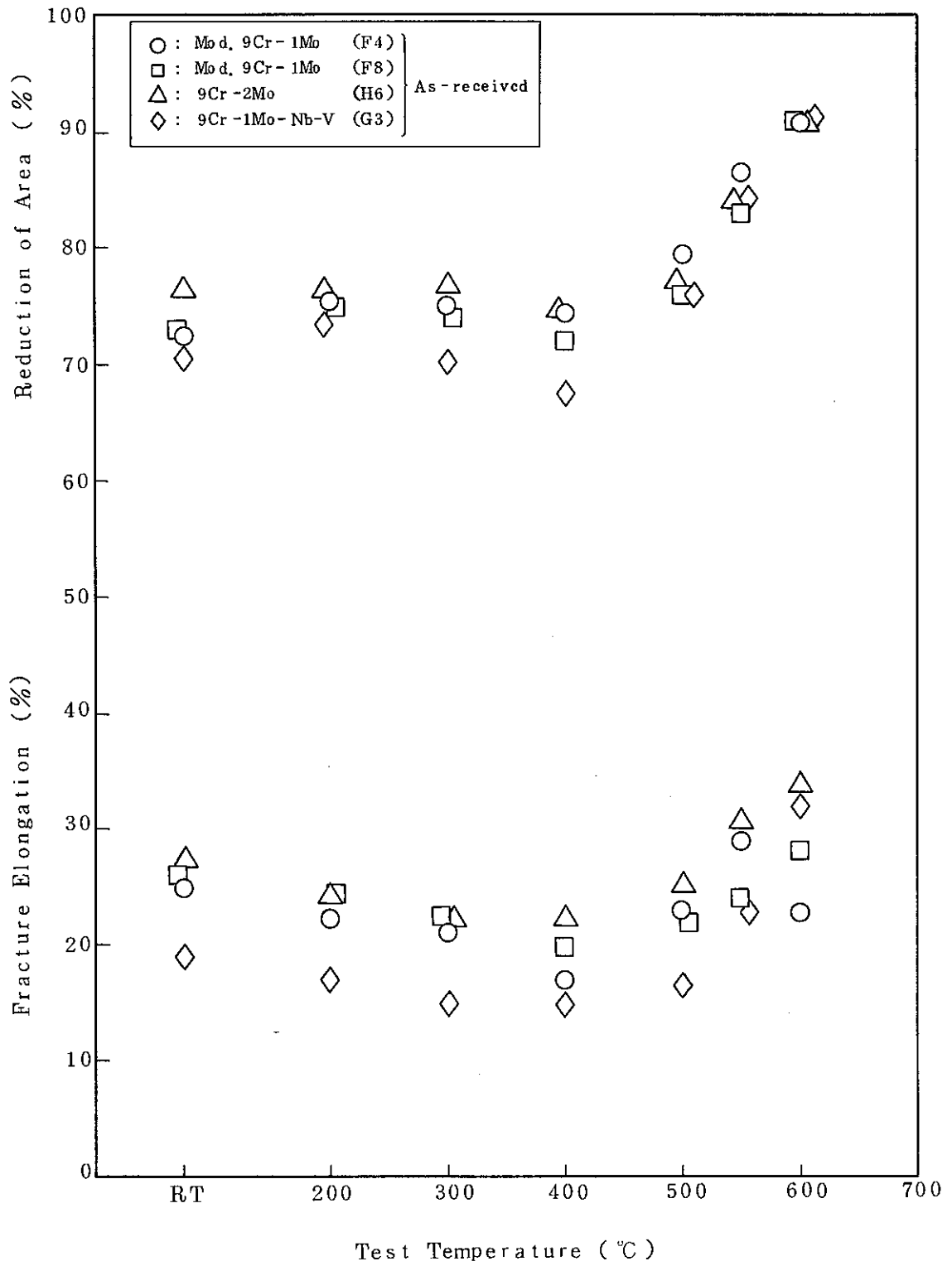


Fig.2-6 Effect of Temperature on Tensile Ductilities of Various 9Cr-Mo Steels forgings. (Center, t/4 Thickness, Z)

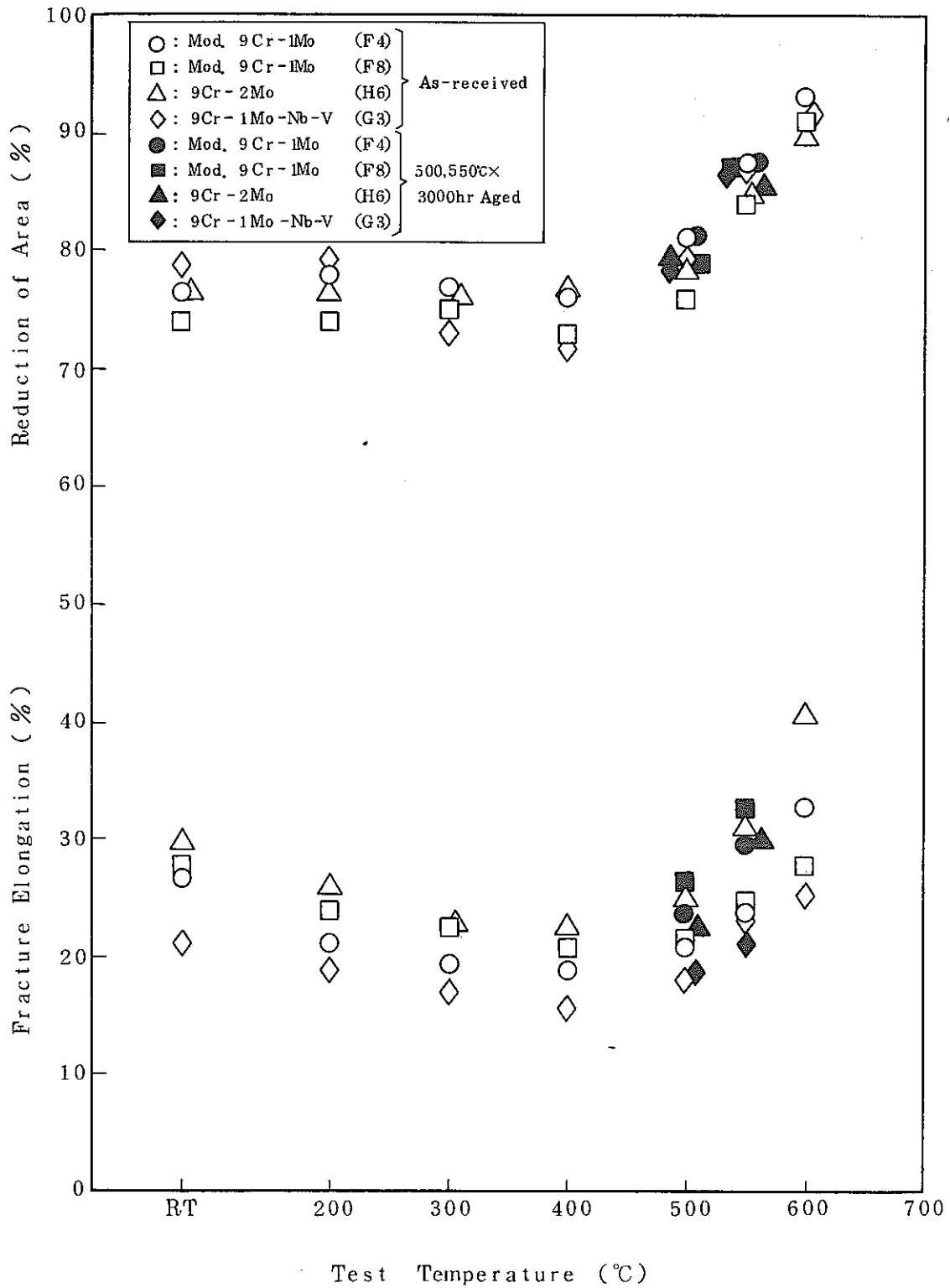


Fig.2-7 Effect of Temperature on Tensile Ductilities of Various 9Cr-Mo Steels forgings. (Center, t/2 Thickness, L)



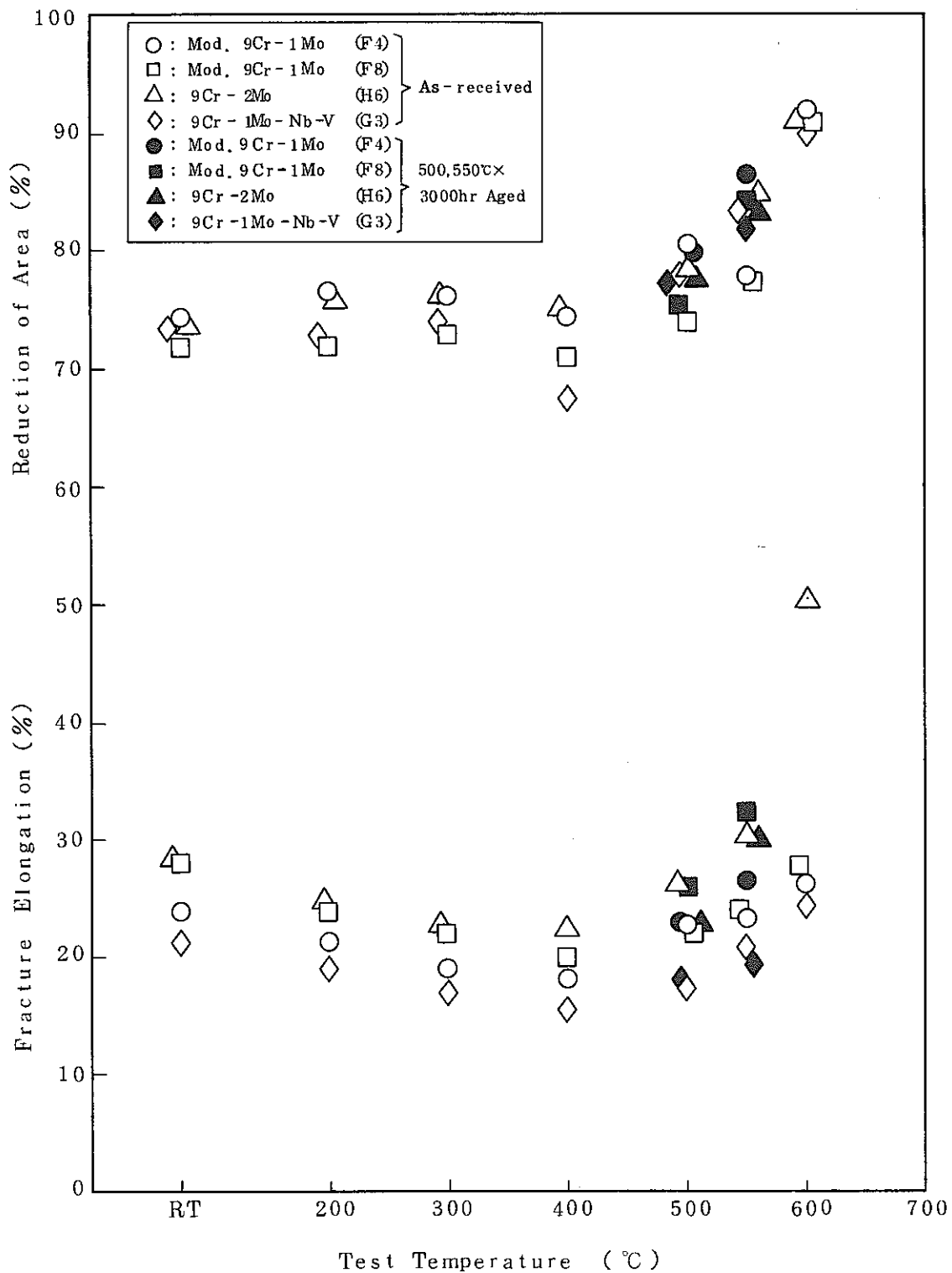


Fig.2-8 Effect of Temperature on Tensile Ductilities of Various 9Cr-Mo Steels forgings. (Center, t/2 Thickness, Z)

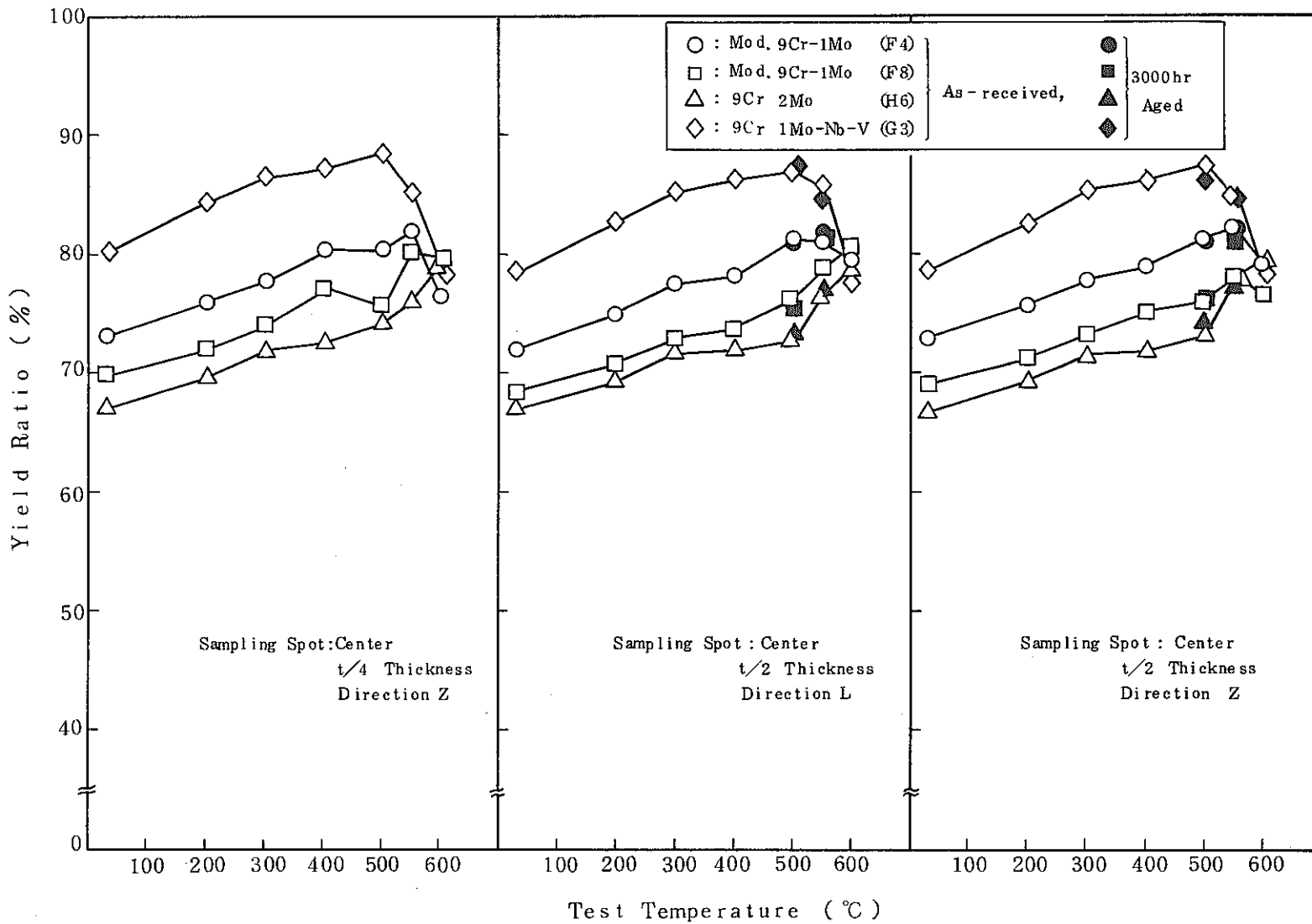


Fig.2-9 Variation of Yield Ratio with Test Temperature of Various 9Cr-Mo Steel forgings.

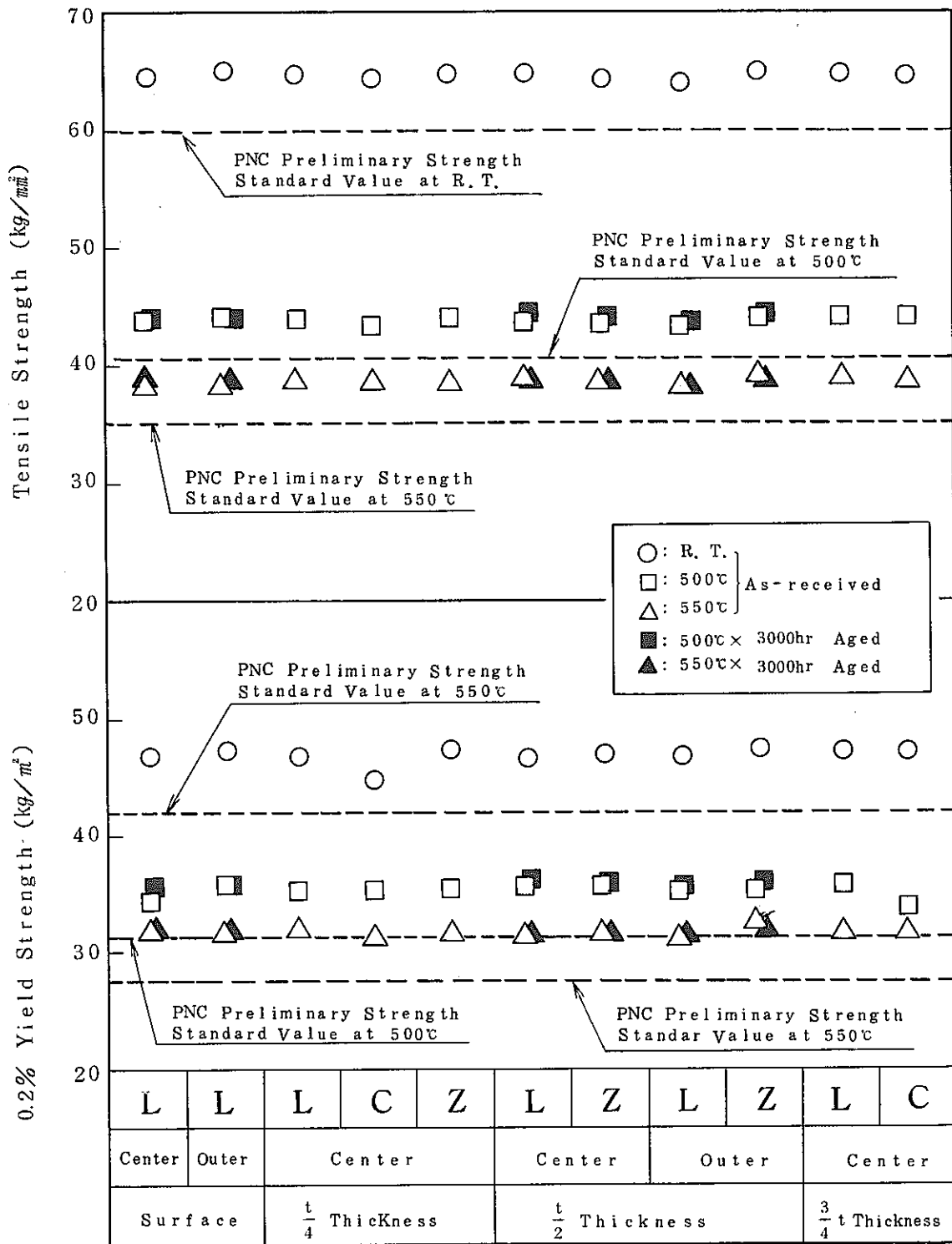


Fig. 2-10 Effect of Sampling Method on Tensile Ductilities of Mod. 9Cr-1Mo Steel Forging (F4).

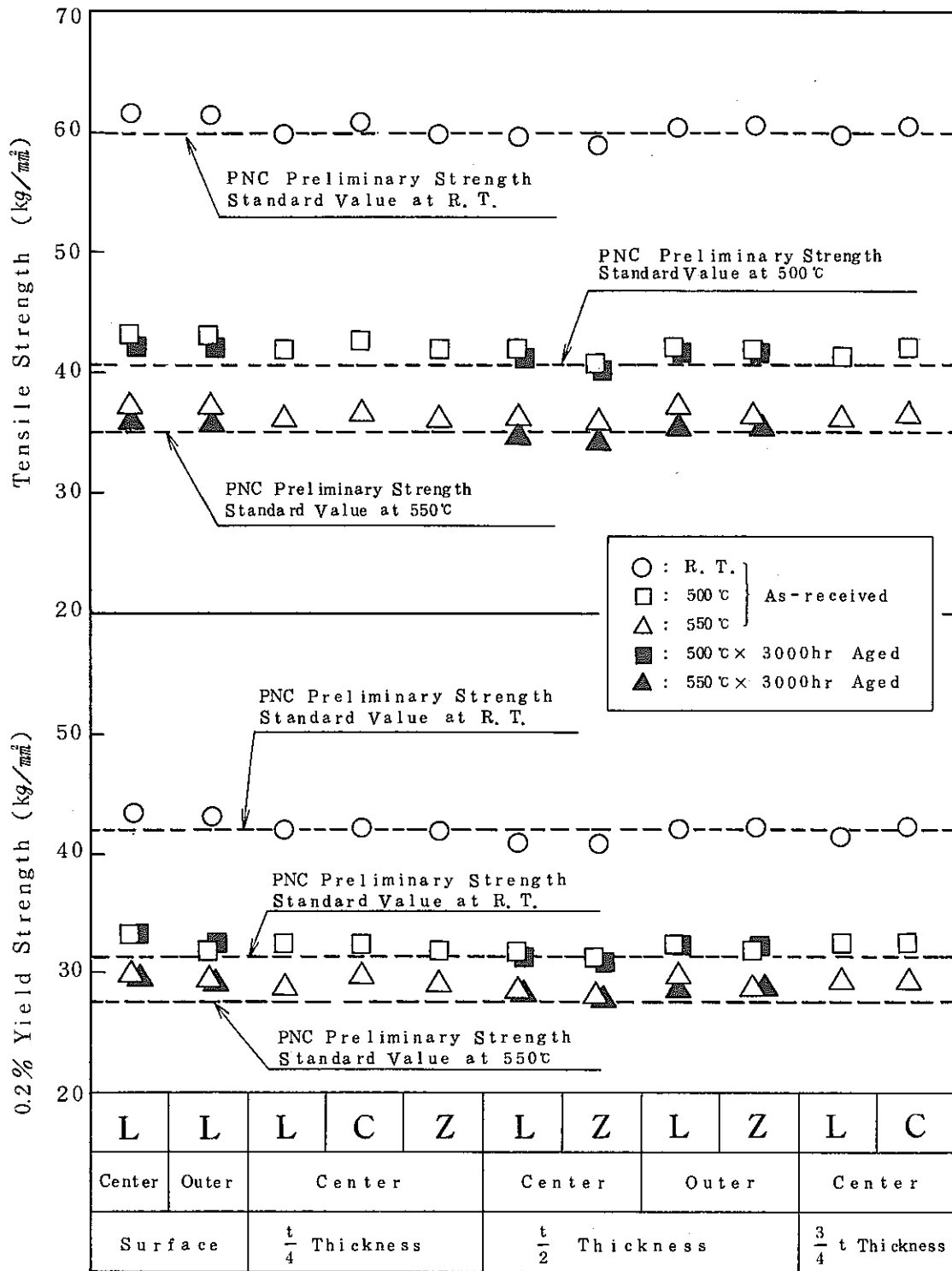


Fig.2-11 Effect of Sampling Method on Tensile Properties of Mod.9Cr-1Mo Steel Forging (F8).

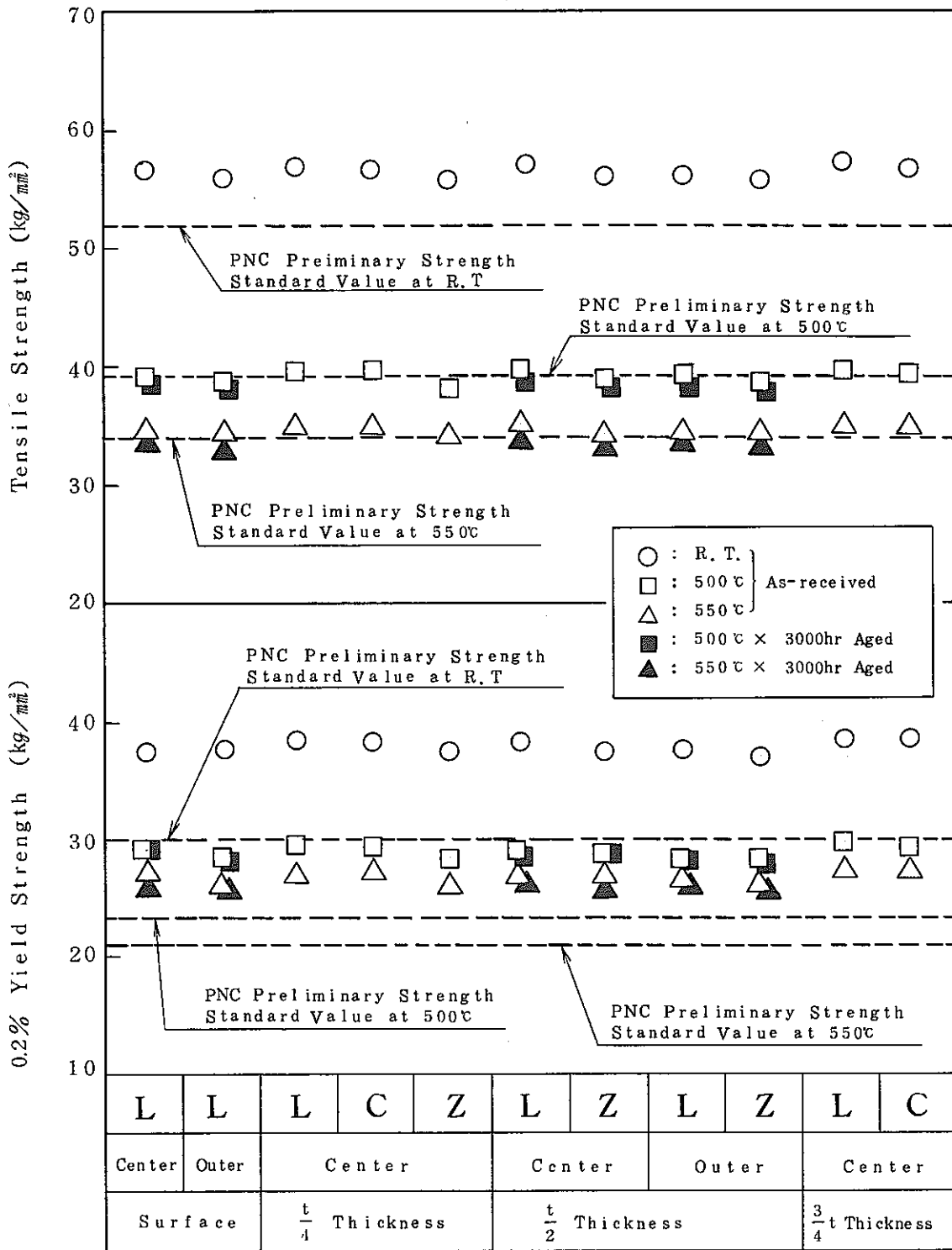


Fig.2-12 Effect of Sampling Method on Tensile Properties of 9Cr-2Mo Steel Forging (H6).

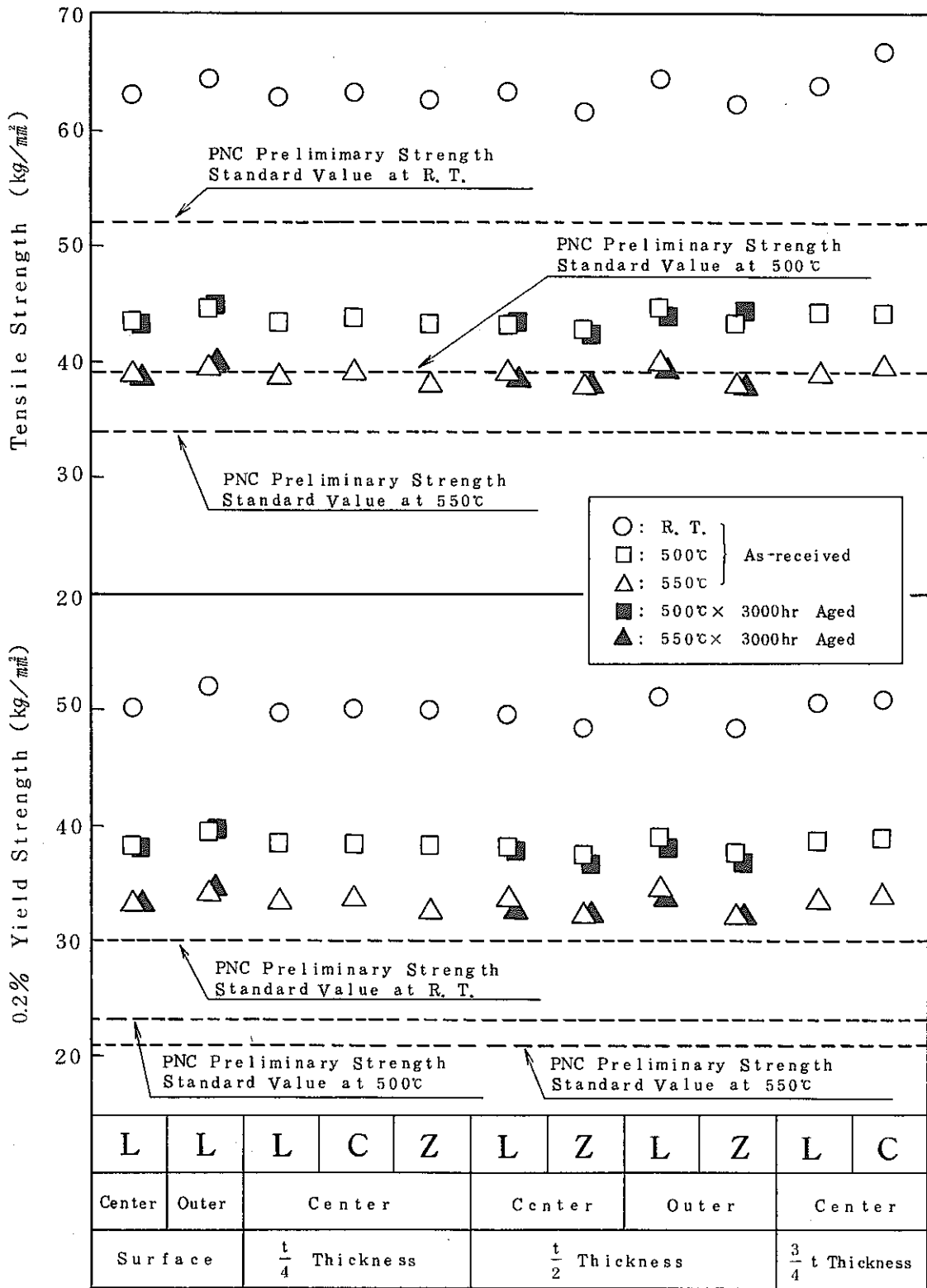


Fig.2-13 Effect of Sampling Method on Tensile Properties of 9Cr-1Mo-Nb-V Steel Forging(H6).

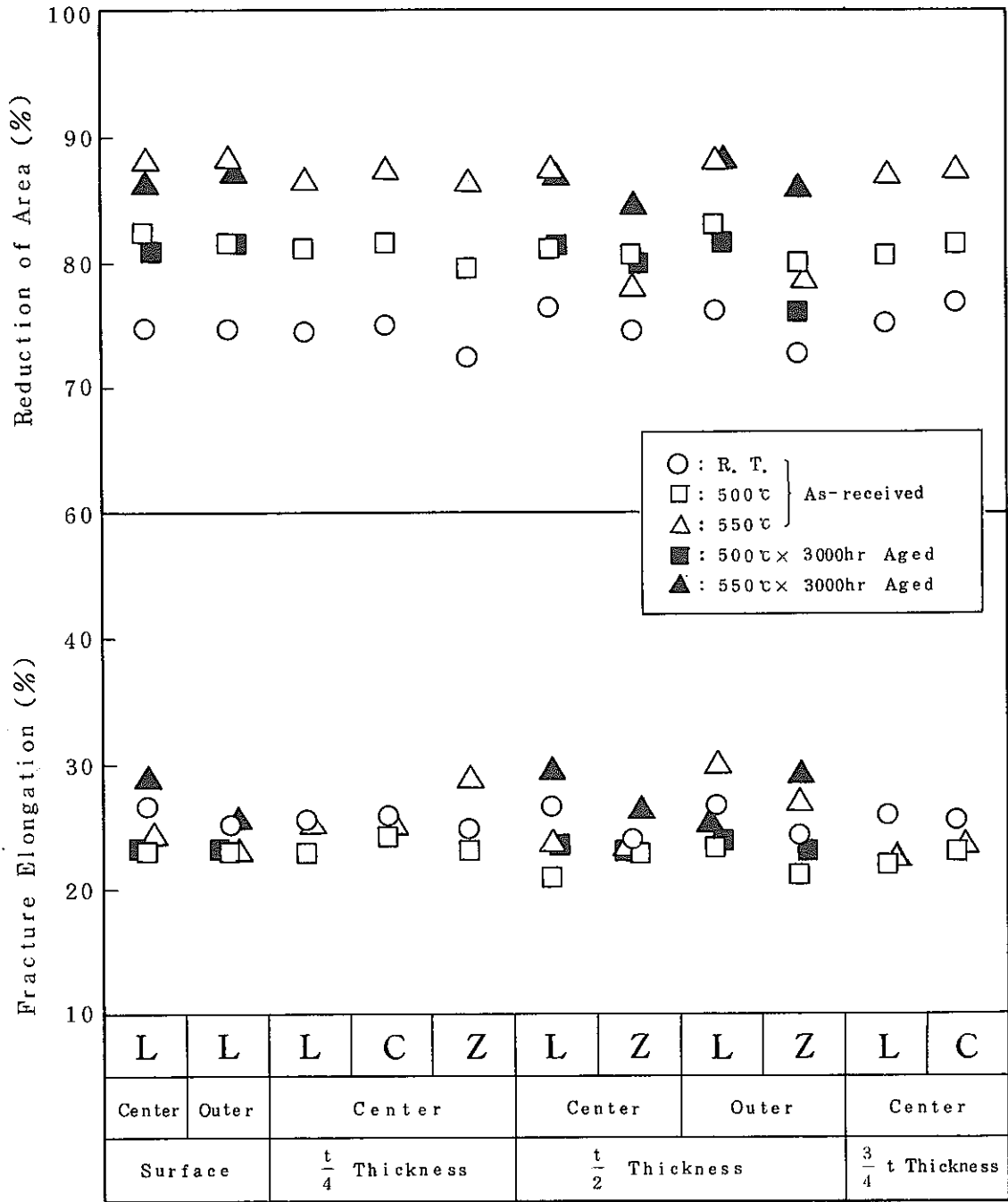


Fig.2-14 Effect of Sampling Method on Tensile Ductilities of Mod. 9Cr-1Mo Steel Forging (F4).

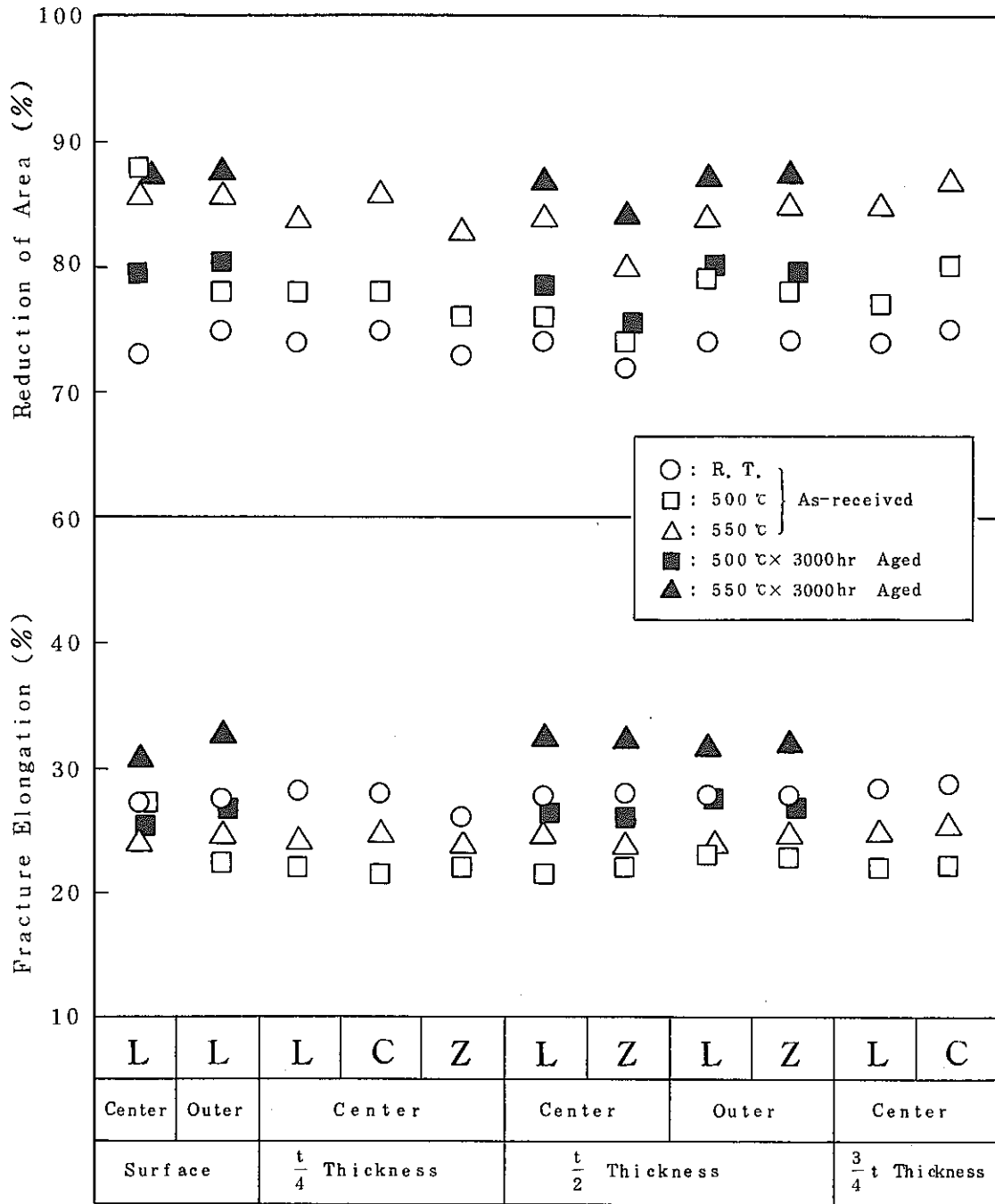


Fig.2-15 Effect of Sampling Method on Tensile Ductilities of Mod.9Cr-1Mo Steel Forging (F8).



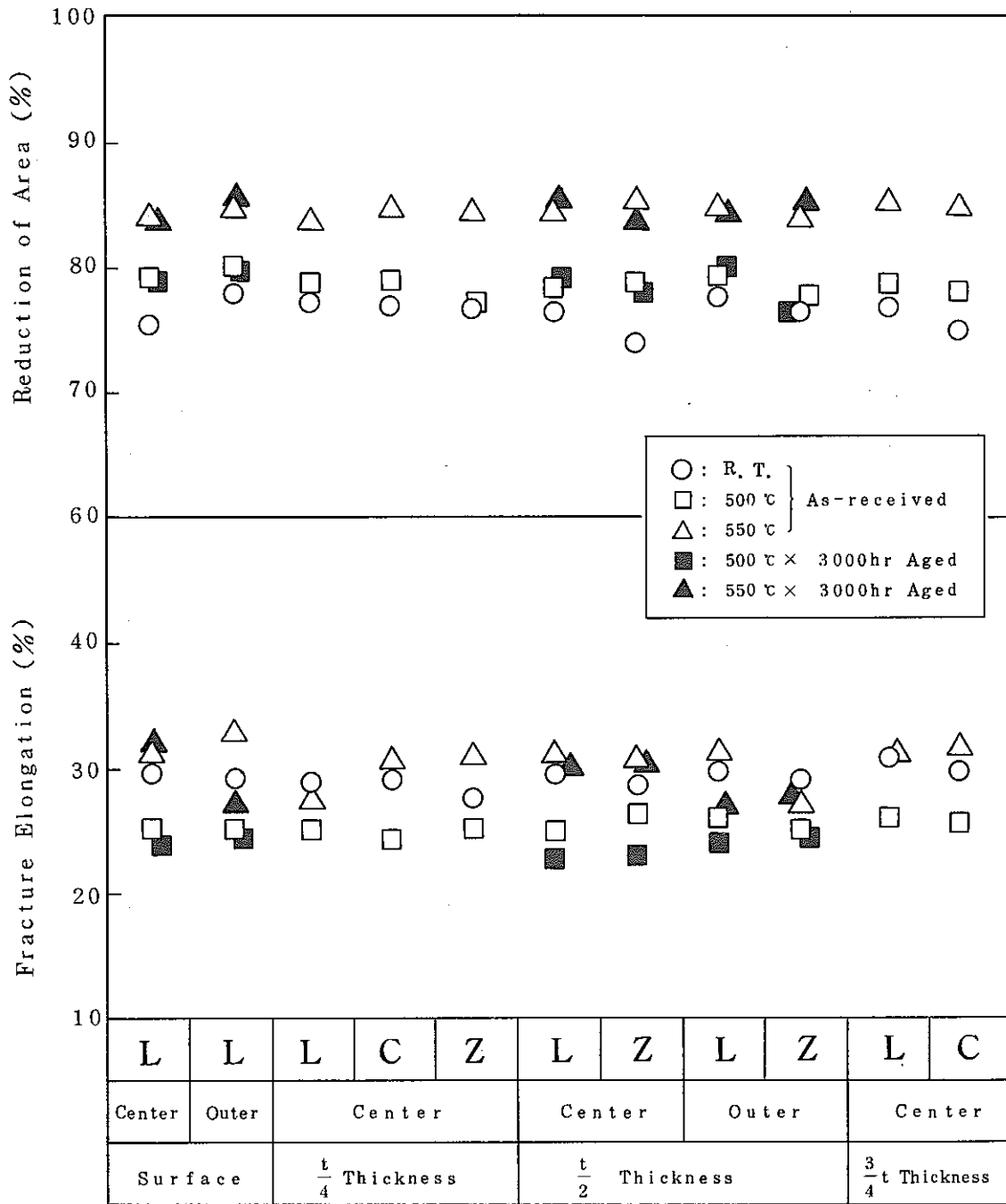


Fig.2-16 Effect of Sampling Method on Tensile Properties of 9Cr-1Mo-Nb-V Steel Forging (G3).

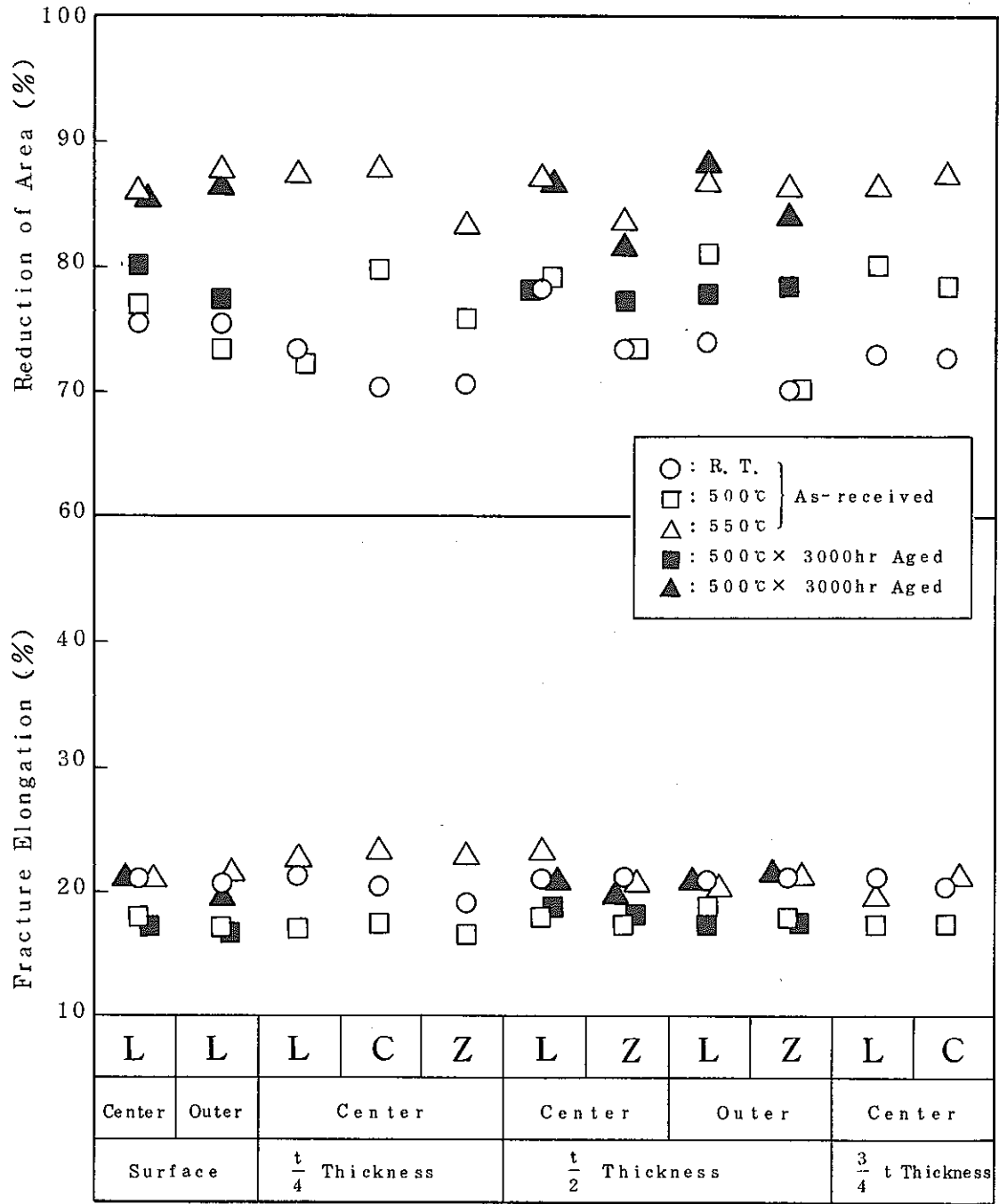


Fig.2-17 Effect of Sampling Method on Tensile Ductilities of 9Cr-1Mo-Nb-V Steel Forging (G3).