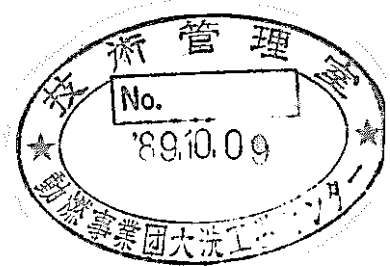


新材料ラッパ管試作評価試験 (II B)

(動力炉・核燃料開発事業団 委託研究成果報告書)



1989年5月

| 技術資料コード | |
|-------------------------------------|--------------|
| 開示区分 | レポートNo. |
| T | J9009 89-001 |
| この資料は 図書室保存資料です 閲覧には技術資料閲覧票が必要です | |
| 動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センター技術管理室 | |

住友金属工業株式会社
研究開発本部 鉄鋼技術研究所

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下さい。

〒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

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technology Management Section, O-arai Engineering Center, Power Reactor
and Nuclear Fuel Development Corporation 4002, Narita O-arai-machi Higashi-
Ibaraki-gun, Ibaraki, 311-14, Japan

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

1989年 5 月

新材料ラッパ管試作評価試験（ⅡB）

寺西洋志*，平野 奨*，大沢敏幸*

松田勝彦**，菜本 亘**，佐々木静雄**

要 旨

前回の評価で良好な性能を得た大型高速実証炉長寿命燃料集合体用ラッパ管の適正成分系 $0.1C-11Cr-0.4Mo-2W-0.2V-0.05Nb-0.05N$ をベースに B 添加の影響を検討した。選定した成分の板材にて目標の機械的性質（引張強度，靱性）を満足する熱処理条件を定め，その結果に基づきラッパ管を試作し評価試験を行った。

・本研究で得られた結果を以下に要約する。

- 1) B 無添加鋼と 20ppm 添加鋼では引張性質，硬度の機械的性質には殆ど相違が認められない。
B 添加により若干衝撃性質は劣化することが分かった。
- 2) 目標機械的性質のなかで問題となる 650°C 引張強度 ($\sigma_B(650^{\circ}\text{C}) \cong 40\text{kgf}/\text{mm}^2$ ， $\sigma_{0.2}(650^{\circ}\text{C}) \cong 30\text{kgf}/\text{mm}^2$) を満足させる熱処理条件を決定した。 1050°C 焼ならし焼もどし温度は 725°C 以下の温度とする必要がある。焼ならし温度を 1100°C 以上にすれば焼もどし温度は 750°C でも目標強度は満足させることは可能である。

本報告書は，住友金属工業株式会社が動力炉・核燃料開発事業団の委託により実施した研究の成果である。

契約番号：630D152

事業団担当部課室および担当者：燃料材料技術開発室（奥田隆成）

*住友金属工業株式会社 鉄鋼技術研究所

**住友金属工業株式会社 鋼管製造所

- 3) 靱性目標値（焼ならし・焼もどし熱処理まま： $DBTT \leq 20^{\circ}\text{C}$ ， $600^{\circ}\text{C} \times 5$ 年使用相当： $DBTT \leq 150^{\circ}\text{C}$ ）は 1050 ， 1100°C で焼ならししたものは焼ならしまま～ 750°C 焼もどしのいずれの場合でも満足する。 1200 ， 1300°C で焼ならししたものは 750°C 焼もどしを施しても満足しない。
- 4) 板材で選定した成分（ $0.1\text{C}-11\text{Cr}-0.4\text{Mo}-2\text{W}-0.2\text{V}-0.05\text{Nb}-0.05\text{N}$ ）と熱処理条件（ 1050°C 焼ならし・ 700°C 焼もどし）にてラップ管の製作を行い，品質・性能の評価をした。 その結果を要約すると以下のとおりである。
- ① 寸法，欠陥については仕様を満足する。
 - ② 寸法精度が向上したのは最終冷間加工の効果によるものである。
 - ③ 組織はマルテンサイト単相で微細な組織である。
 - ④ 高温引張強度も目標値を満足する。
 - ⑤ 衝撃特性も目標値を満足する。 ラップ管が得られた。
 - ⑥ 硬度もバラツキが小さく均一なラップ管が得られた。

May 1989

Trial Production of Wrapper Tubes of Advanced Material (II B)

Hiroshi Teranishi*, Susumu Hirano*, Toshiyuki Osawa*
Katuhiko Matuda**, Wataru Unemoto**, Shizuo Sasaki**

Abstract

The second trial production of wrapper tubes was made on the carbide precipitation hardened ferritic steel, followed by the selection of the suitable chemical compositions and heat treatment obtained from the plates. The addition of B was of particular interest in the chemical compositions of 0.1C-11Cr-0.4Mo-2W-0.2V-0.05Nb-0.05N steel.

The test results are summarized as follows.

- 1) In the system of 0.1C-11Cr-0.4Mo-2W-0.2V-0.05Nb-0.05N steel, the addition of B with 20ppm was found ineffective in terms of such mechanical properties as tensile strength and hardness, and rather resulted in degradation in charpy impact properties.

Work performed by Sumitomo Metal Industries, LTD. under contract with Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation.

Contract Number : 630D038

PNC Liaison : Nuclear Fuel Technology Development Division, Fuel Analysis and Development Section, Takanori Okuda

*Iron and Steel Research Laboratories, Sumitomo Metal Industries, LTD.

**Steel Tube Works, Sumitomo Metal Industries, LTD.

- 2) The suitable heat treatment condition was chosen that could meet the requirement of elevated temperature tensile strength with $\sigma_B (650^\circ\text{C}) \geq 40\text{kgf/mm}^2$ and $\sigma_{0.2} (650^\circ\text{C}) \geq 30\text{kgf/mm}^2$ which was thought difficult to satisfy among others. When 1050°C was selected for normalization temperature, tempering temperature was required below 725°C , while normalization temperature higher than 1100°C could allow the tempering temperature up to 750°C .
- 3) The requirement in impact properties (As normalized and tempered : $\text{DBTT} \leq 20^\circ\text{C}$, $650^\circ\text{C} \times 5$ year service : $\text{DBTT} \leq 150^\circ\text{C}$) could be met even without tempering when normalized at 1050 and 1100°C . While, normalized at 1200 and 1300°C , the requirement could not be met, even when tempering was given at 750°C .
- 4) The chemical compositions ($0.1\text{C}-11\text{Cr}-0.4\text{Mo}-2\text{W}-0.2\text{V}-0.05\text{Nb}-0.05\text{N}$) and heat treatment condition (1050°C normalized and 700°C tempered), which was established on the plates, was extended to trial production of wrapper tubes and they were evaluated in terms of quality and properties.

The results are as follows.

- ① Dimensions and defects met the specification.
- ② Microstructure was full martensitic and grain size was fine.
- ③ Elevated temperature strength met the requirements.
- ④ Toughness was satisfactory.
- ⑤ The uniformity of wrapper tubes was good in terms of hardness measurement.

目 次

| | |
|-------------------------------|----|
| 1. まえがき | 1 |
| 2. 研究内容 | 2 |
| 2.1 板材の評価試験に関する仕様 | 2 |
| 2.1.1 仕様の概要 | 2 |
| 2.1.2 板材の評価試験に関する技術仕様 | 2 |
| 2.2 ラッパ管の試作に関する仕様 | 3 |
| 2.2.1 仕様の概要 | 3 |
| 2.2.2 ラッパ管の試作に関する技術仕様 | 4 |
| 3. 試作板材の評価試験 | 7 |
| 3.1 試作板材の製造方法 | 7 |
| 3.2 試作板材の化学成分 | 7 |
| 3.3 試作板材の試験結果 | 7 |
| 3.3.1 引張試験（熱処理まま材） | 7 |
| 3.3.2 引張試験（600℃×5年相当使用材） | 7 |
| 3.3.3 シャルピー衝撃試験（熱処理まま） | 8 |
| 3.3.4 シャルピー衝撃試験（600℃×5年相当使用材） | 8 |
| 3.3.5 かたさ試験 | 8 |
| 3.3.6 抽出残渣分析（熱処理まま材） | 9 |
| 3.3.7 組 織 | 9 |
| 3.4 長時間加熱の検討 | 9 |
| 3.5 試作板材での試験結果の要約 | 10 |
| 4. ラッパ管の試作試験 | 11 |
| 4.1 製造方法 | 11 |
| 4.2 製品検査要領 | 11 |
| 4.3 製品検査結果 | 15 |

| | | |
|-------|-------|----|
| 4.3.1 | 化学成分 | 15 |
| 4.3.2 | 製品寸法等 | 15 |
| 4.3.3 | 組 織 | 15 |
| 4.3.4 | 機械的性質 | 15 |
| 5. | ま と め | 16 |
| 6. | 参考文献 | 18 |

表 リ ス ト

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 表1. 仕様目標値 ----- | 3 |
| 表2. 板材の化学成分 ----- | 19 |
| 表3. 熱処理条件 ----- | 20 |
| 表4. 長時間加熱後の調査項目 ----- | 21 |
| 表5. 引張特性に及ぼす焼ならし，焼もどし温度の影響 ----- (A鋼：0.11C-0.07Si-0.43Ni-11.22Cr-0.42Mo-1.75W-0.20V-0.07Nb-0B) | 22 |
| 表6. 張特性に及ぼす焼ならし，焼もどし温度の影響 ----- (B鋼：0.12C-0.06Si-0.42Ni-11.06Cr-0.43Mo-1.73W-0.19V-0.064Nb-0.0022B) | 23 |
| 表7. 長時間加熱後の引張試験結果 ----- | 24 |
| 表8. シャルピー衝撃試験結果 ----- | 25 |
| 表9. シャルピー衝撃試験結果 ----- | 26 |
| 表10. シャルピー衝撃試験結果 ----- | 27 |
| 表11. シャルピー衝撃性質 ----- | 28 |
| 表12. シャルピー衝撃試験結果 ----- | 29 |
| 表13. シャルピー衝撃試験結果 ----- | 30 |
| 表14. シャルピー衝撃試験結果 ----- | 31 |
| 表15. シャルピー衝撃性質 ----- | 32 |
| 表16. 長時間加熱後のシャルピー衝撃試験結果 ----- | 33 |
| 表17. 長時間加熱後のシャルピー衝撃性質 ----- | 34 |
| 表18. かたさ試験結果 (A鋼, B鋼) ----- | 35 |
| 表19. 長時間加熱後のかたさ試験結果 ----- | 36 |
| 表20. 抽出残渣分析結果 ----- | 37 |
| 表21. ラップ管の品質管理要領 ----- | 38 |
| 表22. ラップ管の最終熱処理条件 ----- | 41 |
| 表23. ラップ管の化学成分 ----- | 41 |
| 表24. 外側対面間距離測定結果 ----- | 42 |
| 表25. 内側対面間距離測定結果 ----- | 43 |
| 表26. 肉厚測定結果 ----- | 44 |

| | |
|----------------------|----|
| 表27. パッド部寸法測定結果 | 45 |
| 表28. 内側角部曲率半径測定結果 | 45 |
| 表29. 真直度, ねじれ検査結果 | 46 |
| 表30. 非金属介在物測定結果 | 46 |
| 表31. A S T M粒度No測定結果 | 46 |
| 表32. ラップ管の引張試験結果 | 47 |
| 表33. シャルピー衝撃試験結果 | 48 |

図 リ ス ト

| | |
|-----------------------------------------------|----|
| 図1. 供試材製造履歴 ----- | 49 |
| 図2. 高温引張強度に及ぼす焼もどし温度の影響（鋼種間の比較，1050℃焼ならし材） -- | 50 |
| 図3. 引張強度に及ぼす熱処理条件の影響 ----- | 51 |
| 図4. 常温引張強さと650℃耐力，引張強さとの関係 ----- | 52 |
| 図5. 長時間加熱後の高温引張強度に及ぼす焼もどし温度の影響 ----- | 53 |
| 図6. 長時間加熱後の高温引張強度に及ぼす焼もどし温度の影響 ----- | 54 |
| 図7. シャルピー衝撃試験結果（A鋼） ----- | 55 |
| 図8. シャルピー衝撃試験結果（A鋼） ----- | 56 |
| 図9. シャルピー衝撃試験結果（A鋼） ----- | 57 |
| 図10. シャルピー衝撃試験結果（A鋼） ----- | 58 |
| 図11. シャルピー衝撃試験結果（B鋼） ----- | 59 |
| 図12. シャルピー衝撃試験結果（B鋼） ----- | 60 |
| 図13. シャルピー衝撃試験結果（B鋼） ----- | 61 |
| 図14. シャルピー衝撃試験結果（B鋼） ----- | 62 |
| 図15. 靱性変化に及ぼす焼もどし温度の影響 ----- | 63 |
| 図16. 長時間加熱後のシャルピー衝撃試験結果（A鋼） ----- | 64 |
| 図17. 長時間加熱後のシャルピー衝撃試験結果（A鋼） ----- | 65 |
| 図18. シャルピー衝撃性質に及ぼす長時間加熱の影響（A鋼） ----- | 66 |
| 図19. シャルピー衝撃性質に及ぼす長時間加熱の影響（A鋼） ----- | 67 |
| 図20. かたさ試験結果 ----- | 68 |
| 図21. 抽出残渣分析結果（A鋼） ----- | 69 |
| 図22. 抽出残渣分析結果（A鋼） ----- | 70 |
| 図23. 抽出残渣分析結果（B鋼） ----- | 71 |
| 図24. 抽出残渣分析結果（B鋼） ----- | 72 |
| 図25. 61F S鋼長時間加熱後の高温引張性質 ----- | 73 |
| 図26. 長時間加熱後のシャルピー衝撃試験結果（61F S） ----- | 74 |

| | |
|-------------------------------------------------------------|----|
| 図27. 61F S鋼長時間加熱後の抽出残渣量変化 (NT:1050°C×1h AC+800°C×1h AC) | 75 |
| 図28. 61F S鋼長時間加熱後の抽出残渣量変化 (NT:1050°C×1h AC+750°C×10h AC) | 75 |
| 図29. パッド付ラッパ管製造工程 | 76 |
| 図30. ラッパ管の高温引張特性 | 77 |
| 図31. ラッパ管の衝撃試験遷移曲線 | 78 |

写真リスト

| | | |
|-------|-----------------------|----|
| 写真1. | 光学顕微鏡組織写真 (A鋼) | 79 |
| 写真2. | 光学顕微鏡組織写真 (A鋼) | 80 |
| 写真3. | 光学顕微鏡組織写真 (A鋼) | 81 |
| 写真4. | 光学顕微鏡組織写真 (A鋼) | 82 |
| 写真5. | 光学顕微鏡組織写真 (B鋼) | 83 |
| 写真6. | 光学顕微鏡組織写真 (B鋼) | 84 |
| 写真7. | 光学顕微鏡組織写真 (B鋼) | 85 |
| 写真8. | 光学顕微鏡組織写真 (B鋼) | 86 |
| 写真9. | 長時間加熱後の光学顕微鏡組織写真 (A鋼) | 87 |
| 写真10. | 長時間加熱後の光学顕微鏡組織写真 (A鋼) | 88 |
| 写真11. | ラップ管の光学顕微鏡組織 (横断面) | 89 |

1. まえがき

大型実証炉，商用炉を対象に経済性を重視した長寿命炉心材料の研究開発が進められている。オーステナイト系ステンレス鋼にくらべて耐スエリング性の優れたフェライト系耐熱鋼が長寿命炉心材料として注目されている。

燃料被覆管用には現用の改良 SUS316 ステンレス鋼と同等以上のクリープ破断強度 ($650^{\circ}\text{C} \times 10^4\text{h}$ で $20\text{kg}/\text{mm}^2$ 以上) が要求されており，炭化物析出強化型フェライト系耐熱鋼では強度的に限界がある。^{1~3)} 従って，酸化物分散強化型フェライト系耐熱鋼 (ODS 鋼) の研究開発に重点が移行している。^{4~8)}

ラップ管では燃料被覆管ほどのクリープ破断強度は要求されず，短時間強度と靱性がむしろ重要な性能である。従って，被覆管用に開発してきた高強度フェライト/マルテンサイト鋼の成分や熱処理条件を改良することによりラップ管を実用化させ得る可能性がある。

本研究では，高温短時間強度目標値を高く設定したことに対応して，63年度に試作した高強度フェライト/マルテンサイト鋼ラップ管の評価試験を踏まえて⁷⁾，板材で $0.1\text{C}-11\text{Cr}-0.4\text{Mo}-2\text{W}-0.2\text{V}-0.05\text{Nb}-0.05\text{N}$ 成分系での B 添加の影響と適正熱処理条件の検討を行った。板材で得られた成分・熱処理条件にてラップ管を試作し評価試験を行った。

2. 研究内容

2.1 板材の評価試験に関する仕様

2.1.1 仕様の概要

62年度に試作したラップ管（62WF S）成分にBを添加し，熱処理条件を選定することにより，Bの影響及び機械的性質等の向上を計る。

2.1.2 板材の評価試験に関する技術仕様

(1) 適用範囲

62年度に試作した組成，熱処理条件，機械的性質をもとに表1に示す仕様を目標として，板材を試作し最適成分，熱処理条件を選定する。

(2) 供試材

62年度ラップ管成分，62年度ラップ管成分にBを添加した2鋼種を表2に示し，図1の工程により製造した。

(3) 熱処理

表3に示す熱処理（焼ならし，焼もどし）12種を実施し，更に表4に選定したA鋼の熱処理条件及び長時間加熱試験条件を示した。

(4) 強度試験

(a) 引張試験

試験片：6φ×30GL（丸棒）

試験条件：A，B鋼で熱処理パラメータ16条件，各4温度（室温，600℃，650℃，700℃）計128本実施し，更にA鋼のみで6熱処理 1長時間加熱処理 各4温度 計28本実施した。

(b) 衝撃試験

試験片： $t5 \times W10 \times L55$ -2 mmVノッチ サブサイズ衝撃試験片

試験片数：表3に従い，A，B鋼とも熱処理パラメータ16条件，各8本計256本を採取し，延性-脆性遷移温度，Upper-Shelfエネルギー概略値，Lower-Shelfエネルギー概略値を求め，更にA鋼のみで6熱処理 1長時間加熱処理 各8本 計48本を実施した。

(5) 金相試験

(4)項の強度試験において、特に熱処理パラメータの影響が顕著に認められた試料についてマイクロ観察を実施する。

(6) 解析評価とラッパ管の仕様目標

上記、(4)、(5)の結果を解析し、ラッパ管試作のための最適組成及び熱処理条件を含む仕様を選定する。

参考とすべきラッパ管の仕様項目と目標は以下の通りとする。

(a) 引張特性

表1. 仕様目標値

| 試験温度 (°C) | 0.2耐力 (kgf/mm ²) | 引張強さ (kgf/mm ²) | 伸び (%) |
|--------------|---------------------------------|--------------------------------|-----------|
| R.T (20) | 60 | 70 | 10 |
| 650 | 30 | 40 | 7 |

(b) 衝撃特性

DBTT 20°C (焼入れ, 焼もどし処理材)

DBTT 150°C (600°C×5年相当使用材)

↓
700°C×200hr

2.2 ラッパ管の試作に関する仕様

2.2.1 仕様の概要

数量：3体, うち1体は, 破壊検査用, 2体は納入用

材質：高Crフェライト鋼

形状：正六角形継目無交換 (パッド付)

寸法：

(単位：mm)

| | | |
|----------------|-------|------------------------|
| 外側対面距離 (管部) | ..... | 110.6 |
| 外側対面間距離 (パッド部) | ..... | 114.8 $\pm_{0}^{0.60}$ |
| 内側対面間距離 | ..... | 104.60±0.40 (目標±0.25) |
| 肉厚 (管部) | ..... | 3.00±0.25 (目標±0.20) |

| | | | |
|----------------------|-------|------------------|---------------|
| 肉 厚 (パッド部) | ..... | $5.10^{+0.60}_0$ | |
| パッド部長 (頂 部) | ..... | 40^{+7} | (目標 ± 5) |
| パッド部長 (底 部) | ..... | 80 ± 10 | (目標 ± 5) |
| 内側角部曲率半径 | ..... | $4.5 \pm 0.5R$ | |
| 全 長 | ..... | $3,020^{+10}_0$ | |
| パッド部位置 (下端よりパッド中心まで) | ..... | 1.695 ± 5 | |

2.2.2 ラッパ管の試作に関する技術仕様

(1) 適用範囲

2.1 で定めた長寿命高性能高Crフェライト鋼正六角形継目無鋼管の試作と評価を実施するものである。

(2) ラッパ管の試作

(a) 溶解法および化学成分

素材は、真空溶解により製造すること。鋼塊は、その上下部分より分析試料を採取し、次表で定めた成分仕様を満足していること。

ラッパ管の化学成分範囲と目標値 (wt.%)

| | 範 囲 | 目 標 値 |
|-------|-------------|-------------|
| C | 0.10~0.14 | 0.12 |
| Si | <0.1 | 0.05 |
| Mn | 0.4~0.8 | 0.6 |
| P | ≤ 0.02 | ≤ 0.02 |
| S | ≤ 0.02 | ≤ 0.02 |
| Ni | 0.2~0.6 | 0.4 |
| Cr | 10.0~12.0 | 11.0 |
| Mo | 0.2~0.6 | 0.4 |
| Co | <0.01 | <0.01 |
| N | 0.03~0.07 | 0.05 |
| Nb+Ta | 0.04~0.09 | 0.06 |
| V | 0.14~0.22 | 0.18 |
| W | 1.5~2.0 | 1.7 |

(3) 寸法等

(a) 寸法測定

試作管全数について寸法測定を行ない、その測定値が2.2.1の仕様を満足することを目標とする。

(b) 真直度

試作管の真直度はいかなる位置および長さをとっても1.00mm以下を満足することを目標とする。また、局部曲がり、ねじれがないことを目標とする。

(c) ねじれ検査

試作管全数について、定盤上に並べ各辺について六角管片端（反No側）2点を固定して、他端（No側）2点の定盤からの浮き上がりをすきまゲージで測定し、その差が規格 $\leq 0.50\text{mm}$ /全長を満足することを目標とする。

(4) 表面品質

(a) 表面粗さ

試作管全数について内外面の表面粗さは、JIS標準試験片（JIS B 0659）と対比して肉眼による観察を行ない、その表面粗さが12.5S以下を目標とする。

(5) 欠陥健全性

(a) 超音波探傷検査

試作管の最終索管全数の、全面全長にわたって水浸式超音波パルス反射法によって超音波探傷を行ない、管内外表面の管軸方向につけられた下記寸法の標準人工欠陥信号と対比して、標準人工欠陥信号以上の欠陥信号を認めてはならない。

標準人工欠陥
（管の軸方向）

| | |
|---|-------------------------|
| { | 深さ \leq 素管肉厚の7% |
| | 長さ $\leq 12.7\text{mm}$ |
| | 巾 $\leq 1.5\text{mm}$ |

(b) 外観検査

試作管全数の内外表面には、油、酸化物等の有害な付着物がないこととする。また、肉眼で認められる割れ、および深さ0.3mm以上の穴や疵がないこととする。

(6) 機械的性質

(a) 引張試験

試作管1本の管部およびパッド部の軸方向から試験片を採取し、J I S Z 2241およびJ I S G 0567に準じて、管部については室温および600℃から700℃まで50℃ごと各温度(N=1)、パッド部では室温および600、650、700℃各4温度(N=1)について行ない、性質が2.1(6)で定めた値を満足することを目標とする。

- 試験片：管の長さ方向よりJ I S Z 2201 13号試験片を採取する。パッド部の試験片については、管部の肉厚3mmまで頂部を削除する。
- 採取位置および個数：パッド部は、2辺から室温および高温用引張試験片(3mm t) 4本採取する。管部は、パッド部と対応させて、引張試験片4本を採取する。計8本の試験片を採取する。

(b) 衝撃試験

試作管1本について、パッド部および管部軸方向より2.5t厚のミニチュアサイズ各10本採取し、延性、脆性遷移温度、Upper-Shelfエネルギー概略値、Lower-Shelfエネルギー概略値を求める。(試験片本数：計10本)

(7) 金相試験

(a) 介在物試験

試作管1本の縦断面上下2ヶ所について、ASTM-E45-Aの規定に従って非金属介在物を測定し、結果を報告するものとする。

(b) 結晶粒度試験(2.1で定めた値を満足することを目標とする。)

試作管2本の横断面上下2ヶ所について、ASTM-E112により結晶粒度を測定し、参考値として光学顕微鏡組織とともに報告すること。

(8) その他

試作管片端(上端)の外表面には、電気振動ペンにより事業団指定の管No.(63WFS 1~3)を刻字すること。また、非破壊検査記録などの対応を明確にするため、管No刻字側の端面を上から見てNo刻字面をA面とし、これより時計まわりの方向にB、C、D、E、Fと各面を指定する。

3. 試作板材の評価試験

3.1 試作板材の製造方法

2鋼種（A，B）の板材を図1に示す製造工程で製造した。熱間鍛造→熱間圧延で板材とし、それらの板材を表3に示す焼ならし・焼もどし熱処理条件で熱処理した。A鋼は82年度ラッパ管成分と同一の成分である。11%CrではB添加が機械的性質に影響するとの研究に鑑みて⁸⁾，A鋼にBを20ppm添加したB鋼の検討をした。

3.2 試作板材の化学成分

表2に供試鋼板材の化学成分を示す。化学成分は仕様を満足している。

3.3 試作板材の試験結果

3.3.1 引張試験（熱処理まま材）

表5，6と図2，3にA鋼およびB鋼の引張性質におよぼす熱処理条件の影響をまとめた。鋼種による引張性質の相違は認められずB添加の効果は殆どない。目標機械的性質のなかで問題となるのは650℃引張強度であり（ $\sigma_B(650^\circ\text{C}) \geq 40\text{kg}/\text{mm}^2$ ， $\sigma_{0.2}(650^\circ\text{C}) \geq 30\text{kg}/\text{mm}^2$ ）を満足させ得るのは1050℃焼ならし材では725℃以下の焼戻し温度である（図2）。焼ならし温度を1100℃以上にすれば焼戻し温度は750℃でも目標強度は満足させることは可能である（図3）。

図4に示すように常温引張強度と650℃引張強度とは直線的な関係があり、 $\sigma_B(650^\circ\text{C}) \geq 40\text{kg}/\text{mm}^2$ ， $\sigma_{0.2}(650^\circ\text{C}) \geq 30\text{kg}/\text{mm}^2$ を満足させるためには少なくとも常温引張強さは90kg/mm²以上となるように熱処理条件を選定する必要がある。

3.3.2 引張試験（600℃×5年相当使用材）

表7および図5，6に600℃×5年相当使用後の引張性質を示す。 $\sigma_B(650^\circ\text{C}) \geq 40\text{kg}/\text{mm}^2$ ， $\sigma_{0.2}(650^\circ\text{C}) \geq 30\text{kg}/\text{mm}^2$ を満足させ得る1050℃焼ならし650℃，700℃，725℃焼戻し材と1100℃焼ならし700℃，725℃，750℃焼戻し材について700℃×200h（600℃×5年相当加熱処理）の長時間加熱を行った。長時間加熱により引張強度はいずれも低下し、800℃焼もどし材の強度レベルとなる。

3.3.3 シャルピー試験（熱処理まま材）

表8～11と図7～10にA鋼のシャルピー衝撃性質におよぼす熱処理条件の影響をまとめた。また表12～15と図11～14にB鋼のシャルピー衝撃性質におよぼす熱処理条件の影響をまとめた。図15にA鋼およびB鋼の鋼種によるシャルピー衝撃性質の比較を示した。

A鋼およびB鋼ともに1050℃および1100℃焼ならし材では焼ならしままから800℃までの焼戻し温度で熱処理したものは靱性目標値（焼ならし・焼戻し熱処理まま：DBTT \leq 20℃）を満足する（表11, 15, 図7, 8, 11, 12）。また当然のことであるが焼戻し温度を高めて行くと靱性は向上する。

焼ならし温度を1200℃以上にすれば焼戻し温度は750℃でも靱性目標値は満足させることはできなくなる（表11, 15, 図9, 10, 13, 14）。

図15にA鋼, B鋼の1050℃および1100℃焼ならし材でのシャルピー衝撃性質の比較をしB添加の影響を調べた。B添加は靱性を若干劣化させる傾向が認められる。

3.3.4 シャルピー試験（600℃×5年相当使用材）

表16～17と図16～19にA鋼の600℃×5年相当使用後のシャルピー衝撃性質に及ぼす影響をまとめた。長時間加熱は引張強度目標 $\sigma_B(650^\circ\text{C}) \geq 40\text{kg}/\text{mm}^2$, $\sigma_{0.2}(650^\circ\text{C}) \geq 30\text{kg}/\text{mm}^2$ を満足させ得る1050℃焼ならし650℃, 700℃, 725℃焼戻し材と1100℃焼ならし700℃, 725℃, 750℃焼戻し材について700℃×200h（600℃×5年相当加熱処理）の処理を行った。

長時間加熱により、いずれの焼ならし・焼もどし材とも同じ様な衝撃特性となり（図16, 17）, 600℃×5年相当使用後の靱性目標値（DBTT \leq 150℃）を十分満足していることがわかる。

700℃×200h長時間加熱により衝撃特性は向上し、引張強度の場合と同様に800℃焼もどし材の衝撃特性レベルとなる（図18, 19）。

3.3.5 かたさ試験

表18と図20にA鋼, B鋼のかたさにおよぼす熱処理条件の影響をまとめた。両鋼ともにかたさは焼ならし温度が高くなると増加し、焼戻し温度が高くなるとかたさは低下する。かたさに対してもB添加の効果は認められない。

表19, 図20にA鋼のかたさにおよぼす700℃×200h（600℃×5年相当長時間加熱）

長時間加熱の影響をまとめた。引張強度の場合と同様にかたさは長時間加熱によりずれも低下し、800℃焼もどし材のかたさレベルとなる。

3.3.6 抽出残渣分析（熱処理まま材）

表20と図21～24にA鋼、B鋼の熱処理条件と析出物中の金属元素量の分析結果を示した。焼ならし・焼戻し熱処理ままでは両鋼とも炭化物 M_7C_3 、 $M_{23}C_6$ 、 $V(C,N)$ 、 NbC が析出する。 M_7C_3 、 $M_{23}C_6$ 炭化物のMの構成元素はFe、Cr、Mo、Wである。従って析出物中のFe、Cr、Mo、W、V、Nbの金属元素量の分析により析出挙動を推定することができる。

焼ならしままおよび焼戻し後のFe、Cr、Mo、W、Vの抽出量に対しては焼ならし温度の影響は認められず焼戻し温度で決まってくる。Nbの抽出量については焼ならしままでは焼ならし温度の影響が非常に大きい。焼ならし温度が高くなるとNbの抽出量が減少し焼ならし温度を1200℃以上とするとNbは殆ど抽出されなくなる。焼戻し処理を施すと焼戻し温度で決まるNbが抽出される。

3.3.7 組 織

写真1～4にA鋼の光学顕微鏡組織におよぼす熱処理条件の影響をまとめた。また写真5～8にB鋼の光学顕微鏡組織におよぼす熱処理条件の影響をまとめた。

A鋼およびB鋼ともに1050℃および1100℃焼ならし材は微細な結晶粒となっている。焼ならし温度を1200℃以上とすると結晶粒は粗大化する。また焼ならし温度を1300℃とすると δ フェライトが現れる。A鋼とB鋼でマイクロ組織的な相違は認められない。

写真9、10にA鋼の1050℃および1100℃焼ならし材の光学顕微鏡組織におよぼす700℃×200h（600℃×5年相当長時間加熱）長時間加熱の影響を示した。長時間加熱による光学顕微鏡組織の変化はあまり認められない。

3.4 長時間加熱の検討

長時間加熱により引張強度が低下する。600℃×5年相当長時間加熱（700℃×200h）は800℃×1h焼もどし処理とほぼ同一の焼もどしパラメータ（ $p = T(20 + \log t)$ ）で21500程度）となるため、焼ならし・焼もどし温度で650℃目標引張強度を満足させるように調整しても800℃×1h焼もどし処理材の強度レベルに落ちてしまう。

600°C×5年相当長時間加熱の加熱条件を焼もどしパラメータ ($p = T (20 + \log t)$) で21500程度) で整理できるかについては検討の余地がある。今回の検討では700°C×200 h で600°C×5年相当としたが、前回の結果では600°C, 650°C, 700°C×最長3000 h 長時間加熱試験を実施している⁷⁾。600°C加熱材の場合は、強度の低下は殆どみられず、靱性がむしろ低下している(図25, 26)。また、長時間加熱後の析出物抽出残渣分析結果からも600°C, 650°C, 700°Cでは析出量が相当異なっているのが認められている(図27)。現在650°C×2000 h 長時間加熱試験をすすめており、この結果を待って判断したい。

3.5 試作板材での試験結果要約

試作板材0.1C-11Cr-0.4Mo-2W-0.2V-0.05Nb-0.05N成分系での機械的性質、析出挙動、マイクロ組織におよぼす20ppm B添加の影響を調べた結果、B添加の効果は認められずむしろ靱性を劣化させることが分かった。ラッパ管の製造にあたってはBを添加する必要はない。

適正熱処理条件については、最も重要なのは650°C目標引張強度 ($\sigma_B(650^\circ\text{C}) \geq 40 \text{ kg/mm}^2$, $\sigma_{0.2}(650^\circ\text{C}) \geq 30 \text{ kg/mm}^2$) を満足させることであり、本目標を満足させ得るのは1050°C焼ならし材では725°C以下の焼戻し温度である。焼ならし温度を1100°C以上にすれば焼戻し温度は750°Cでも目標強度は満足させることは可能である。

600°C×5年相当長時間加熱を同一の焼もどしパラメータ ($p = T (20 + \log t)$) で21500程度) の700°C×200 h で代表すると引張強度が低下する。600°C×5年相当長時間加熱の加熱条件を焼もどしパラメータで整理できるかについては検討の余地がある。現在650°C×2000 h [$T (20 + \log)$ で600°C×5年相当] 長時間加熱試験をすすめており、この結果を待って判断したい。

4. ラッパ管の試作試験

4.1 製造方法

ラッパ管の製造工程を図29に示す。さらに表21に製造にあたっての品質管理要領を示す。熱処理条件を表22に示す。試験管は前回の試作経験を踏まえ、寸法精度を高めるために熱処理10%の最終冷間加工を施している。なおラッパ管は3本試作した(管番号63WF S 1～3)。

4.2 製品検査要領

化学成分, 引張性質, 衝撃性質, 介在物試験, 結晶粒度試験, 寸法測定, 真直度検査, ねじれ検査, 超音波探傷検査, 外観検査, 表面あらさなどの試験検査の手順と方法を以下に示す。

製 品 検 査 要 領

| 項 目 | 品 質 ・ 規 定 値 | 試 験 ・ 検 査 要 領 | 試 験 ・ 検 査 の 数 | | | | | | | | |
|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------|-----|-----------------------------|-----|---------|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| (1) 化学成分 (%) | インゴット, および製品分析を行ない, 下記値を満足すること。 C : 0.10~0.14 (0.12目標) Si : <0.1 (0.05目標) Mn : 0.4~0.8 (0.6目標) P : ≤0.02 S : ≤0.02 Ni : 0.2~0.6 Cr : 10.0~12.0 Mo : 0.2~0.6 Co : <0.01 N : 0.03~0.07 (0.05目標) Nb+Ta : 0.04~0.09 (0.06目標) V : 0.14~0.22 (0.18目標) W : 1.5~2.0 (1.7目標) | 下記の方法に従って分析する。 J I S G 1211 「電量測定法」による。 J I S G 1212 「二酸化ケイ素重量法」による。 J I S G 1257 「原子吸光分析方法」による。 J I S G 1214 「モリブデン青吸光光度法」による。 J I S G 1215 「赤外吸収法」による。 J I S G 1216 「ジメチルグリオキシム分離 D E T A 滴定法」による。 J I S G 1217 「過硫酸アンモニウム酸化過マンガン酸カリ滴定法」による。 J I S G 1257 「原子吸光分析方法」による。 J I S G 1257 「原子吸光分析方法」による。 「不活性ガス中溶解-熱伝導度測定法」による。 J I S G 1231 「フィチン分離スルフォクロフェノール吸光光度法」による。 J I S G 1257 「原子吸光分析方法」による。 J I S G 1220 「T P A C 抽出吸光光度法」による。 | 1. インゴットの Top, Bottom各1ヶ 2. 製品分析ロット毎に各1ヶ。 | | | | | | | | |
| (2) 常温引張試験 | 0.2% 耐力 ≥60kgf/mm ² 引張強さ ≥70kgf/mm ² 伸 び >10% | 試作管2本の管部およびパッド部の軸方向から試験片を採取し, J I S G 2201, Z 2241に基づいて試験を行なう。 試験片: J I S Z 2201 13号試験片 | 管 部 2ヶ/本 (計2ヶ) パッド部 1ヶ/本 (計2ヶ) | | | | | | | | |
| (3) 高温引張試験 | 下記温度で試験を行ない実績値を報告すること。ただし下表を満足すること。 試験温度 管 部: R T, 600, 650, 700℃ パッド部: R T, 600, 650, 700℃ <table border="1" data-bbox="491 1809 724 2040"> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">650℃</td> </tr> <tr> <td>0.2% 耐力 (kgf/mm²)</td> <td style="text-align: center;">≥30</td> </tr> <tr> <td>引張強さ (kgf/mm²)</td> <td style="text-align: center;">≥40</td> </tr> <tr> <td>伸 び (%)</td> <td style="text-align: center;">>7</td> </tr> </table> () 内 目標値 | | 650℃ | 0.2% 耐力 (kgf/mm ²) | ≥30 | 引張強さ (kgf/mm ²) | ≥40 | 伸 び (%) | >7 | 試作管1本の管部およびパッド部の軸方向から試験片を採取し J I S Z 2201, Z 2241 G 0567に基づいて試験を行なう。 試験: J I S Z 2201 13号試験片 | 管 部 1ヶ/本, 温度 (計4ヶ) パッド部 1ヶ/本, 温度 (計4ヶ) |
| | 650℃ | | | | | | | | | | |
| 0.2% 耐力 (kgf/mm ²) | ≥30 | | | | | | | | | | |
| 引張強さ (kgf/mm ²) | ≥40 | | | | | | | | | | |
| 伸 び (%) | >7 | | | | | | | | | | |

| 項 目 | 品 質 ・ 規 定 値 | 試 験 ・ 検 査 要 領 | 試 験 ・ 検 査 の 数 |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| (4) 衝 撃 試 験 | 実績値報告 | 試作管1本について、パッド部および管部軸方向より2.5t厚のミニチュアサイズ各10本採取し、延性、脆性遷移温度、UpperおよびLower-Shelfエネルギー概略値を求める。 | |
| (5) 介在物試験 | 実績値報告 | 試作管1本の縦断面上下2ヶ所についてASTM-E45-Aの規定に従って非金属介在物を測定する。 | 2ヶ所/本 |
| (6) 結晶粒度試験 | ASTM No5より細粒を目標とする。 | 試作管1本の横断面上下2ヶ所についてASTM-E112により結晶粒度を測定する。 | 2ヶ所/本 |
| (7) 寸法測定 | 外側対面間距離 管 部：110.6 パッド部：114.8 ^{+0.60} ₋₀ | 管の両端および中央部7ヶ所（パッド部含む）について各辺中央部を含む24mm間隔に3ヶ所、3方向をマイクロメータで測定する。 | 全 数 |
| | 内側対面間距離 104.60±0.40 （目標 ±0.25） | 外側対面間距離より同一位置の両対辺肉厚測定値を差引いた値を内側対面間距離とする。 | 全 数 |
| | 肉 厚 管 部：3.00±0.25 （目標 ±0.20） パッド部：5.10 ^{+0.50} ₋₀ | 外側対面間距離測定位置と同一位置を超音波肉厚計で測定する。 | 全 数 |
| | パッド部 位置：下端より中心まで 1695±5 長さ： 頂部 40 ⁺⁷ ₋₁ 底部 80±10 | ノギスにて測定。 | 全 数 |
| | 内側角部曲率半径 4.5±0.5R | 両管端の角部をRゲージで測定する。 | 全 数 |
| | 全長 3020 ⁺¹⁰ ₋₀ | 鋼性巻尺にて測定する。 | 全 数 |
| (8) 真直度検査 | 1.00mm/全長 以下 | 定盤上において両端の上面が同一高さになるように調整シダイヤルゲージにより最大変位量を求める。 | 全 数 |

| 項 目 | 品 質 ・ 規 定 値 | 試 験 ・ 検 査 要 領 | 試 験 ・ 検 査 の 数 |
|------------------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| (9) ねじれ検査 | 0.50mm/全長 以下 | 定盤上において片端の辺の2点が同一高さになるように調整しダイヤルゲージにより他端の辺の2点の差を測定する。 | 全 数 |
| (10) 超音波探傷検査 (最終索管) | 標準欠陥信号以上の欠陥信号を認めないこと。 | 試作管の最終索管の全面全長にわたって水浸式超音波パルス反射法によって探傷を行なう。 標準欠陥は下記の通り。 深 さ：≤索管肉厚の7% 長 さ：≤12.7mm 巾：≤1.5mm | 全 数 |
| (11) 外 観 検 査 | 管の内外表面には、油、酸化物等の有害な付着物がないこと。また肉眼で認められる割れおよび深さ0.3mm以上の穴や疵がないこと。 | 肉眼検査による。 | 全 数 |
| (12) 表面あらさ | 12.5S以下を目標とする。 | 内外表面についてJ I S標準試験片(J I S B 0659)と対比して肉眼による観察を行なう。 | 全 数 |

4.3 製品検査結果

4.3.1 化学成分

表23に鋼塊およびラッパ管の化学成分分析値を示す。表中には仕様および目標値を合わせて示した。成分分析値は仕様を満足し、ほぼ目標どりの値となっている。

4.3.2 製品寸法等

製品寸法測定結果および真直度、ねじれ検査結果を表24～29に示す。外側対面間距離、内側対面間距離、肉厚ともに仕様および目標値を満足する(表24, 25, 26)。またパッド部の寸法諸元(位置、底部および頂部長さ、内側角部曲率半径)も仕様を満足している(表27, 28)。前回の試作管に較べて寸法精度が向上しているのが認められ、最終冷間加工の効果があったといえる。最終素管の超音波探傷結果はいずれもノーインディケーションであった。製品の外観は大きな欠陥もなく良好であった。

4.3.3 組織

写真に管番号63WF S 3のラッパ管横断面の光学顕微鏡組織を示す。組織の腐食法はピレラエッチにより行った。組織は焼もどしマルテンサイト单相の微細で均一な組織である。表30, 31に非金属介在物測定結果およびASTM結晶粒度 N_d (参考値)を示す。結晶粒度 N_d は管の横断面上下2ヶ所で測定を行った。いずれも微細な組織で良好な結果を得た。

4.3.4 機械的性質

表32および図30に管番号63WF S 3のラッパ管部とパッド部の引張試験結果を示す。表33および図32にシャルピー衝撃試験結果を示す。

引張試験結果は常温および650℃の目標引張強度($\sigma_B(RT) \geq 70\text{kg}/\text{mm}^2$, $\sigma_{0.2}(RT) \geq 60\text{kg}/\text{mm}^2$, $\sigma_B(650^\circ\text{C}) \geq 40\text{kg}/\text{mm}^2$, $\sigma_{0.2}(650^\circ\text{C}) \geq 30\text{kg}/\text{mm}^2$)を満足している。かたさ測定結果は測定位置による差もなく良好な値を示している。シャルピー衝撃試験結果も測定位置による差もなく良好な値を示している。またUpper-Shelfエネルギーは $9.5\text{kgf}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$ 、Lower-Shelfエネルギーは $3.5\text{kgf}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$ である。延性-脆性遷移温度($vTrs$)は -60°C と靱性目標値($DBTT \leq 20^\circ\text{C}$)を十分満足していることがわかる。

5. まとめ

前回の評価で良好な性能を得たフェライト/マルテンサイト系ラップ管の適正成分系0.1C-11Cr-0.4Mo-2W-0.2V-0.05Nb-0.05Nの板材での特性評価と前回の試作成果を踏まえてラップ管を試作・評価した。

その結果を要約すると以下のようなものである。

1) 板 材

- ① B無添加鋼と20ppm添加鋼では引張性質、硬度の機械的性質には殆ど相違が認められない。B添加により若干衝撃性質は劣化することが分かった。
- ② 目標機械的性質のなかで問題となる650℃引張強度 ($\sigma_B(650^\circ\text{C}) \geq 40\text{kg}/\text{mm}^2$, $\sigma_{0.2}(650^\circ\text{C}) \geq 30\text{kg}/\text{mm}^2$) を満足させる熱処理条件を決定した。1050℃焼ならしでは焼戻し温度は725℃以下の温度とする必要がある。焼ならし温度を1100℃以上にすれば焼戻し温度は750℃でも目標強度は満足させることは可能である。
- ③ 靱性目標値(焼ならし・焼戻し熱処理まま: DBTT $\leq 20^\circ\text{C}$, 600℃×5年使用相当: DBTT $\leq 150^\circ\text{C}$) は1050, 1100℃で焼ならししたものは焼ならしまま~750℃焼戻しのいずれの場合でも満足する。1200, 1300℃で焼ならししたものは750℃焼戻しを施しても満足しない。
- ④ 長時間加熱による強度低下については、600℃×5年相当長時間加熱の加熱条件を焼き戻しパラメータ ($p = T(20 + \log t)$) で21500程度) で整理できるかについては検討の余地がある。前回の結果では600, 650℃加熱材の場合は、強度の低下は殆どみられない。現在650℃×2000h長時間加熱試験をすすめており、この結果を待って判断したい。

2) ラップ管

板材で選定した成分(0.1-11Cr-0.4Mo-2W-0.2V-0.05Nb-0.05N)と熱処理条件(1050℃焼ならし・700℃焼戻し)にてラップ管の製作を行い、品質・性能の評価をした。その結果を要約すると以下のとおりである。

- ① 寸法、欠陥については仕様を満足する。
- ② 寸法精度が向上したのは最終冷間加工の効果によるものである。
- ③ 組織はマルテンサイト単相で微細な組織である。

- ④ 高温引張強度も目標値を満足する。
- ⑤ 衝撃特性も目標値を満足するラッパ管が得られた。
- ⑥ 硬度もバラツキが小さく均一なラッパ管が得られた。

6. 参考文献

- 1) PNC S J 9009 86-001 炭化物析出強化型フェライト鋼の開発
- 2) PNC S J 9009 87-003 改良炭化物析出強化型フェライト鋼被覆管と板材の試作 (B)
- 3) PNC S J 9502 88-001 高速炉用燃料被覆管のクリープ試験
- 4) 中嶋元治, 柚原俊一他: “酸化物分散強化型フェライト鋼の基本特性評価”, 日本原子力学会, 1987年秋の大会予稿集, J70
- 5) 田ノ上修二, 野村茂雄他: 日本鉄鋼協会論文集, 材料とプロセス, vol. 2, No.3, 1989, S625
- 6) PNC S J 9009 88-007 分散強化型フェライト鋼材料開発
- 7) PNC S J 9009 88-006 新材料ラッパ管試作試験 (I B)
- 8) 小田克郎, 藤田利夫: 学振123委研究報告, vol. 27, No.1 (1986), 75

表2. 板材の化学成分

| 鋼種 | | C | Si | Mn | P | S | Ni | Cr | Mo | W | V | Nb | sol Al | B | N |
|----|------|------|------|------|--------|--------|-------|-------|------|------|------|-------|--------|--------|-------|
| A | 仕様 | 0.07 | <0.1 | 0.3 | ≦0.030 | ≦0.030 | ≦0.80 | 10.0 | 0.3 | 1.7 | 0.15 | 0.03 | | | 0.03 |
| | | 0.13 | | 0.75 | | | | 12.0 | 0.7 | 2.3 | 0.25 | 0.07 | | | 0.07 |
| | 目標 | 0.10 | 0.05 | 0.5 | | | | 11.0 | 0.5 | 2.0 | 0.2 | 0.05 | | | 0.05 |
| | チェック | 0.11 | 0.07 | 0.6 | 0.002 | 0.003 | 0.43 | 11.22 | 0.42 | 1.75 | 0.20 | 0.070 | 0.001 | 0.0001 | 0.066 |

| 鋼種 | | C | Si | Mn | P | S | Ni | Cr | Mo | W | V | Nb | sol Al | B | N |
|----|------|------|------|------|--------|--------|-------|-------|------|------|------|-------|--------|--------|-------|
| B | 仕様 | 0.07 | <0.1 | 0.3 | ≦0.030 | ≦0.030 | ≦0.80 | 10.0 | 0.3 | 1.7 | 0.15 | 0.03 | | 0.0020 | 0.03 |
| | | 0.13 | | 0.75 | | | | 12.0 | 0.7 | 2.3 | 0.25 | 0.07 | | 0.0030 | 0.07 |
| | 目標 | 0.10 | 0.05 | 0.5 | | | | 11.0 | 0.5 | 2.0 | 0.2 | 0.05 | | | 0.05 |
| | チェック | 0.12 | 0.06 | 0.60 | 0.001 | 0.003 | 0.42 | 11.06 | 0.43 | 1.73 | 0.19 | 0.064 | 0.001 | 0.0022 | 0.065 |

表3. 熱 処 理 条 件

| 鋼 種 | 熱 処 理 条 件 | | 調 査 |
|------|---------------|--------------|---------|
| | 焼きならし | 焼きもどし | |
| A, B | 1050°C×1 h AC | As Norma | ○ △ □ ◇ |
| | | 650°C×1 h AC | ○ △ □ ◇ |
| | | 700°C×1 h AC | ○ △ □ ◇ |
| | | 725°C×1 h AC | ○ △ □ ◇ |
| | | 750°C×1 h AC | ○ △ □ ◇ |
| | | 800°C×1 h AC | ○ △ □ ◇ |
| | 1100°C×1 h AC | As Norma | ○ △ □ ◇ |
| | | 650°C×1 h AC | ○ △ □ ◇ |
| | | 700°C×1 h AC | ○ △ □ ◇ |
| | | 725°C×1 h AC | ○ △ □ ◇ |
| | | 750°C×1 h AC | ○ △ □ ◇ |
| | | 800°C×1 h AC | ○ △ □ ◇ |
| | 1200°C×1 h AC | As Norma | ○ △ □ ◇ |
| | | 750°C×1 h AC | ○ △ □ ◇ |
| | 1300°C×1 h AC | As Norma | ○ △ □ ◇ |
| | | 750°C×1 h AC | ○ △ □ ◇ |

- 引張試験
- △ シャルピー衝撃試験
- 抽出残渣分析
- ◇ かたさ試験

表4. 長時間加熱後の調査項目

| 鋼種 | 熱処理条件 | | 長時間加熱処理条件 | 調査項目 | | | |
|----|-------------|------------|--------------------------------|------|------|-------|----|
| | 焼きならし | 焼きもどし | | 引張試験 | 衝撃試験 | かたさ試験 | 金相 |
| A | 1050°C×1hAC | 650°C×1hAC | 700°C×200h (600°C×5年相当) | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | 700°C×1hAC | | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | 725°C×1hAC | | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | 1100°C×1hAC | 700°C×1hAC | | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | 725°C×1hAC | | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | 750°C×1hAC | | ○ | ○ | ○ | ○ |

表5. 引張特性に及ぼす焼ならし、焼もどし温度の影響
 (A鋼: 0.11C-0.07Si-0.43Ni-11.22Cr-0.42Mo-1.75W-0.20V-0.07Nb-0B)

| Normalization 温度 | | 1050°C | | | | | 1100°C | | | | | 1200°C | | | | | 1300°C | | | | |
|------------------|-------------|---------------------------------------|-----------------------------------|--------|--------|------|---------------------------------------|-----------------------------------|--------|--------|------|---------------------------------------|-----------------------------------|--------|--------|------|---------------------------------------|-----------------------------------|--------|--------|------|
| Temper 温度 | 引張試験温度 (°C) | $\sigma_{0.2}$ (kgf/mm ²) | σ_B (kgf/mm ²) | E1 (%) | Rd (%) | 破断位置 | $\sigma_{0.2}$ (kgf/mm ²) | σ_B (kgf/mm ²) | E1 (%) | Rd (%) | 破断位置 | $\sigma_{0.2}$ (kgf/mm ²) | σ_B (kgf/mm ²) | E1 (%) | Rd (%) | 破断位置 | $\sigma_{0.2}$ (kgf/mm ²) | σ_B (kgf/mm ²) | E1 (%) | Rd (%) | 破断位置 |
| As Nor | RT | 115.6 | 148.4 | 14 | 53 | A | 102.8 | 150.3 | 14 | 53 | A | 92.3 | 148.4 | 12 | 39 | A | 96.9 | 145.0 | 9 | 16 | A |
| | 600 | 58.0 | 76.4 | 17 | 81 | A | 60.8 | 81.2 | 17 | 78 | A | 66.3 | 87.2 | 14 | 64 | A | 62.8 | 84.0 | 13 | 60 | A |
| | 650 | 37.7 | 51.8 | 20 | 87 | A | 41.0 | 53.1 | 21 | 87 | A | 42.7 | 58.7 | 19 | 81 | A | 44.7 | 56.7 | 18 | 81 | A |
| | 700 | 27.4 | 35.1 | 28 | 90 | A | 32.5 | 39.7 | 24 | 88 | A | 31.4 | 44.6 | 21 | 83 | A | 35.0 | 44.6 | 21 | 81 | A |
| 650°C | RT | 90.9 | 106.5 | 18 | 66 | A | 93.0 | 108.8 | 17 | 66 | A | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 600 | 48.1 | 58.4 | 24 | 84 | A | 50.1 | 60.5 | 20 | 78 | A | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 650 | 37.9 | 48.5 | 22 | 88 | A | 41.8 | 51.5 | 21 | 87 | A | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 700 | 28.5 | 37.1 | 25 | 90 | A | 32.5 | 40.8 | 17 | 88 | B | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 700°C | RT | 83.3 | 98.3 | 18 | 66 | A | 85.8 | 101.3 | 17 | 66 | A | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 600 | 43.7 | 53.1 | 24 | 85 | A | 45.6 | 54.8 | 24 | 84 | A | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 650 | 35.4 | 44.3 | 27 | 89 | A | 38.3 | 47.1 | 24 | 87 | A | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 700 | 27.9 | 35.4 | 27 | 91 | A | 30.6 | 38.4 | 24 | 88 | A | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 725°C | RT | 79.2 | 94.1 | 19 | 68 | A | 82.6 | 98.3 | 18 | 66 | A | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 600 | 40.1 | 49.5 | 25 | 88 | A | 43.9 | 53.1 | 24 | 84 | A | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 650 | 32.2 | 41.1 | 28 | 90 | A | 36.2 | 44.9 | 25 | 88 | A | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 700 | - | - | - | - | - | 29.3 | 36.6 | 24 | 89 | A | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 750°C | RT | 72.7 | 88.8 | 19 | 68 | A | 78.9 | 94.6 | 18 | 68 | A | 87.6 | 103.8 | 16 | 56 | A | 85.6 | 102.4 | 14 | 49 | A |
| | 600 | 35.4 | 45.1 | 29 | 89 | A | 40.7 | 50.2 | 26 | 85 | A | 45.8 | 55.9 | 26 | 83 | A | 46.0 | 56.6 | 23 | 75 | A |
| | 650 | 25.9 | 35.9 | 36 | 92 | A | 33.5 | 42.4 | 29 | 90 | A | 38.9 | 48.1 | 26 | 85 | A | 39.3 | 48.1 | 26 | 81 | A |
| | 700 | 21.2 | 29.0 | 32 | 93 | B | 25.8 | 33.0 | 34 | 92 | A | 32.6 | 39.6 | 23 | 85 | B | 31.9 | 38.8 | 23 | 84 | A |
| 800°C | RT | 58.7 | 76.9 | 23 | 72 | A | 56.8 | 76.9 | 22 | 70 | A | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 600 | 29.5 | 38.0 | 29 | 90 | A | 30.6 | 38.2 | 31 | 90 | A | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 650 | 21.2 | 30.4 | 37 | 94 | A | 21.9 | 30.4 | 32 | 94 | B | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 700 | 14.7 | 22.9 | 38 | 96 | A | 14.9 | 23.0 | 42 | 96 | A | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

RT YS UT EI
 650 ≥60 M70 M10
 ≥30 M40 M7

表6. 引張特性に及ぼす焼ならし、焼もどし温度の影響

(B鋼：0.12C-0.06Si-0.42Ni-11.06Cr-0.43Mo-1.73W-0.19V-0.06Nb-0.0022B)

| Normalization 温度 | | 1050℃ | | | | | 1100℃ | | | | | 1200℃ | | | | | 1300℃ | | | | |
|------------------|------------|---------------------------------------|-----------------------------------|--------|--------|------|---------------------------------------|-----------------------------------|--------|--------|------|---------------------------------------|-----------------------------------|--------|--------|------|---------------------------------------|-----------------------------------|--------|--------|------|
| Temper 温度 | 引張試験温度 (℃) | $\sigma_{0.2}$ (kgf/mm ²) | σ_B (kgf/mm ²) | E1 (%) | Rd (%) | 破断位置 | $\sigma_{0.2}$ (kgf/mm ²) | σ_B (kgf/mm ²) | E1 (%) | Rd (%) | 破断位置 | $\sigma_{0.2}$ (kgf/mm ²) | σ_B (kgf/mm ²) | E1 (%) | Rd (%) | 破断位置 | $\sigma_{0.2}$ (kgf/mm ²) | σ_B (kgf/mm ²) | E1 (%) | Rd (%) | 破断位置 |
| As Nor | RT | 101.7 | 150.3 | 14 | 56 | A | 101.9 | 151.0 | 13 | 51 | A | 99.4 | 153.5 | 13 | 44 | A | 97.3 | 146.3 | 7 | 16 | A |
| | 600 | 60.3 | 81.2 | 17 | 77 | A | 60.1 | 79.6 | 16 | 58 | A | 68.1 | 90.2 | 16 | 72 | A | 66.0 | 87.2 | 15 | 68 | A |
| | 650 | 38.2 | 51.3 | 21 | 85 | A | 41.0 | 53.3 | 22 | 85 | A | 43.6 | 51.4 | 19 | 83 | A | 43.4 | 59.1 | 20 | 83 | A |
| | 700 | 29.6 | 38.1 | 22 | 88 | A | 31.8 | 39.8 | 21 | 88 | A | 35.3 | 45.3 | 21 | 83 | A | 34.8 | 44.9 | 22 | 84 | A |
| 650℃ | RT | 88.4 | 105.4 | 18 | 68 | A | 92.7 | 110.4 | 16 | 56 | A | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 600 | 47.8 | 58.0 | 24 | 84 | A | 50.4 | 61.7 | 21 | 83 | A | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 650 | 38.2 | 48.3 | 23 | 87 | A | 40.6 | 51.0 | 22 | 84 | A | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 700 | 30.1 | 38.0 | 23 | 88 | A | 33.0 | 41.0 | 24 | 87 | A | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 700℃ | RT | 83.1 | 98.2 | 17 | 66 | A | 85.4 | 101.0 | 18 | 66 | A | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 600 | 43.7 | 53.1 | 23 | 85 | A | 47.4 | 56.2 | 23 | 84 | A | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 650 | 34.8 | 44.0 | 27 | 87 | A | 39.0 | 47.4 | 23 | 87 | A | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 700 | 27.7 | 35.6 | 25 | 88 | A | 31.2 | 38.8 | 23 | 88 | A | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 725℃ | RT | 79.6 | 94.8 | 18 | 68 | A | 81.7 | 97.3 | 17 | 66 | A | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 600 | 41.2 | 50.9 | 20 | 85 | B | 43.5 | 52.9 | 26 | 85 | A | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 650 | 32.4 | 41.7 | 19 | 89 | B | 34.0 | 43.5 | 29 | 88 | A | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 700 | 26.9 | 34.2 | 26 | 90 | B | 29.1 | 36.2 | 22 | 89 | B | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 750℃ | RT | 76.9 | 92.2 | 17 | 66 | A | 79.9 | 95.3 | 18 | 64 | A | 86.5 | 102.9 | 16 | 58 | A | 85.6 | 102.2 | 15 | 53 | A |
| | 600 | 38.9 | 48.1 | 31 | 88 | B | 41.0 | 50.6 | 22 | 87 | B | 47.8 | 57.5 | 24 | 83 | A | 46.7 | 56.6 | 23 | 80 | A |
| | 650 | 26.5 | 39.6 | 31 | 90 | A | 33.0 | 42.5 | 24 | 88 | B | 38.1 | 47.3 | 26 | 87 | A | 39.1 | 48.5 | 23 | 83 | A |
| | 700 | 25.0 | 32.2 | 33 | 82 | A | 26.3 | 34.0 | 23 | 90 | B | 32.7 | 39.9 | 25 | 87 | A | 33.1 | 40.3 | 22 | 84 | A |
| 800℃ | RT | 55.9 | 77.5 | 22 | 73 | A | 58.7 | 77.8 | 21 | 70 | A | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 600 | 31.1 | 39.1 | 32 | 90 | A | 31.1 | 39.6 | 29 | 89 | A | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 650 | 22.4 | 31.1 | 33 | 92 | A | 21.4 | 30.6 | 34 | 93 | A | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 700 | 14.5 | 23.0 | 37 | 95 | A | 15.2 | 23.2 | 29 | 94 | B | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

表7. 長時間加熱後の引張試験結果

(A 鋼)

| Normalization 温 度 | | 1050℃ | | | | | 1100℃ | | | | |
|----------------------|--------------------|------------------------------------------|--------------------------------------|-----------|-----------|------|------------------------------------------|--------------------------------------|-----------|-----------|------|
| Temper 温 度 | 引張試験 温 度 (℃) | $\sigma_{0.2}$ (kgf/mm ²) | σ_B (kgf/mm ²) | E1 (%) | Rd (%) | 破断位置 | $\sigma_{0.2}$ (kgf/mm ²) | σ_B (kgf/mm ²) | E1 (%) | Rd (%) | 破断位置 |
| 650℃ | RT | 59.1 | 71.3 | 22.3 | 71.6 | A | - | - | - | - | - |
| | 600 | 30.5 | 38.5 | 33.7 | 88.9 | A | - | - | - | - | - |
| | 650 | 21.9 | 30.4 | 5.3 | 92.9 | C | - | - | - | - | - |
| | 700 | 15.4 | 23.3 | 40.7 | 94.6 | A | - | - | - | - | - |
| 700℃ | RT | 58.5 | 75.2 | 22.3 | 71.6 | A | 59.1 | 75.7 | 21.3 | 73.3 | A |
| | 600 | 29.9 | 38.3 | 31.7 | 88.9 | A | 30.8 | 38.8 | 32.7 | 88.9 | A |
| | 650 | 21.2 | 30.4 | 30.3 | 92.0 | B | 21.6 | 30.3 | 37.3 | 92.9 | A |
| | 700 | 14.7 | 22.9 | 37.3 | 95.3 | A | 15.9 | 22.2 | 5.3 | 93.8 | C |
| 725℃ | RT | 59.8 | 75.7 | 22.0 | 71.6 | A | 58.2 | 74.1 | 22.3 | 71.6 | A |
| | 600 | 31.3 | 40.0 | 28.7 | 87.8 | A | 30.7 | 38.8 | 30.0 | 87.8 | A |
| | 650 | 22.9 | 32.1 | 35.7 | 92.9 | A | 21.4 | 30.3 | 37.3 | 91.0 | A |
| | 700 | 15.0 | 22.9 | 46.7 | 95.3 | A | 15.4 | 23.2 | 38.0 | 95.3 | A |
| 750℃ | RT | - | - | - | - | - | 58.5 | 74.8 | 22.0 | 69.8 | A |
| | 600 | - | - | - | - | - | 30.4 | 38.8 | 40.0 | 90.0 | A |
| | 650 | - | - | - | - | - | 22.8 | 32.0 | 34.0 | 92.0 | A |
| | 700 | - | - | - | - | - | 16.3 | 24.0 | 28.0 | 94.6 | B |

時効処理条件：700℃×200h AC
(600℃×5年相当)

表8. シャルピー衝撃試験結果

| 鋼種 | 試験温度 (°C) | 熱 処 理 ま ま | | | | | | | | | | | |
|-----|--------------|-------------------|--------------|-------------------------------|--------------|-------------------------------|--------------|-------------------------------|--------------|-------------------------------|--------------|-------------------------------|--------------|
| | | 1050°C×1h (N1) | | 1050°C×1h +650°C×1h (1) | | 1050°C×1h +700°C×1h (2) | | 1050°C×1h +725°C×1h (3) | | 1050°C×1h +750°C×1h (4) | | 1050°C×1h +800°C×1h (5) | |
| | | 衝撃値 (kgf-m/cm) | 延性破面率 (%) | 衝撃値 (kgf-m/cm) | 延性破面率 (%) | 衝撃値 (kgf-m/cm) | 延性破面率 (%) | 衝撃値 (kgf-m/cm) | 延性破面率 (%) | 衝撃値 (kgf-m/cm) | 延性破面率 (%) | 衝撃値 (kgf-m/cm) | 延性破面率 (%) |
| A | -100 | | | | | | | | | | | | |
| | -80 | | | 1.5 | 0 | 1.0 | 0 | 1.3 | 0 | 4.8 | 5 | 6.3 | 10 |
| | -60 | | | | | | | | | | | 9.8 | 40 |
| | -40 | 3.3 | 5 | 2.8 | 0 | 6.3 | 20 | 5.8 | 20 | 7.8 | 40 | 10.3 | 80 |
| | -20 | 3.8 | 15 | 5.8 | 15 | 6.3 | 70 | 8.0 | 40 | 9.5 | 60 | 19.0 | 100 |
| | 0 | 5.5 | 20 | 6.5 | 30 | 10.5 | 80 | 16.5 | 100 | 16.3 | 100 | 20.3 | 100 |
| | 0 | 6.3 | 30 | 5.5 | 30 | 11.8 | 95 | 10.8 | 70 | 16.8 | 100 | 20.8 | 100 |
| | 20 | 8.3 | 70 | 9.0 | 70 | 17.5 | 100 | 18.0 | 100 | 19.3 | 100 | 20.8 | 100 |
| | 40 | | | | | | | | | | | | |
| | 60 | 13.0 | 100 | 15.8 | 100 | 15.8 | 100 | 17.3 | 100 | 16.8 | 100 | 19.5 | 100 |
| | 80 | 13.8 | 100 | | | | | | | | | | |
| 100 | 14.3 | 100 | 14.0 | 100 | 15.3 | 100 | 15.8 | 100 | 16.3 | 100 | | | |

試験片形状: t 5 × w 10 × 55 - 2 V ノッチ

表9. シャルピー衝撃試験結果

| 鋼種 | 試験温度 (°C) | 熱 処 理 条 件 (°C) | | | | | | | | | | | |
|-----|--------------|---------------------------------|--------------|---------------------------------|--------------|---------------------------------|--------------|---------------------------------|--------------|---------------------------------|--------------|---------------------------------|--------------|
| | | 1100°C×1h (N2) | | 1100°C×1h +650°C×1h (6) | | 1100°C×1h +700°C×1h (7) | | 1100°C×1h +725°C×1h (8) | | 1100°C×1h +750°C×1h (9) | | 1100°C×1h +800°C×1h (10) | |
| | | 衝撃値 (kgf-m/cm ²) | 延性破面率 (%) | 衝撃値 (kgf-m/cm ²) | 延性破面率 (%) | 衝撃値 (kgf-m/cm ²) | 延性破面率 (%) | 衝撃値 (kgf-m/cm ²) | 延性破面率 (%) | 衝撃値 (kgf-m/cm ²) | 延性破面率 (%) | 衝撃値 (kgf-m/cm ²) | 延性破面率 (%) |
| A | -100 | | | | | | | | | | | | |
| | -80 | | | | | 1.0 | 0 | 2.3 | 5 | 2.3 | 0 | 5.8 | 5 |
| | -60 | | | | | | | | | | | 7.0 | 15 |
| | -40 | 2.3 | 5 | 1.0 | 0 | 3.8 | 5 | 5.8 | 15 | 5.8 | 20 | 10.5 | 50 |
| | -20 | 4.0 | 10 | 3.8 | 5 | 4.8 | 10 | 6.3 | 20 | 5.8 | 30 | 18.0 | 100 |
| | 0 | 4.5 | 15 | 5.3 | 20 | 6.0 | 30 | 8.5 | 60 | 9.0 | 60 | 20.8 | 100 |
| | 0 | 4.8 | 20 | 4.5 | 15 | 6.0 | 30 | 9.8 | 70 | 9.8 | 70 | 19.5 | 100 |
| | 20 | 6.0 | 60 | 5.8 | 30 | 12.0 | 80 | 17.3 | 100 | 14.8 | 100 | 20.0 | 100 |
| | 40 | | | 13.5 | 100 | | | | | | | | |
| | 60 | 11.5 | 100 | 14.8 | 100 | 13.5 | 100 | 14.8 | 100 | 16.0 | 100 | 20.5 | 100 |
| | 80 | 11.5 | 100 | | | | | | | | | | |
| 100 | 12.5 | 100 | 13.5 | 100 | 16.0 | 100 | 16.3 | 100 | 14.5 | 100 | | | |

試験片形状：t 5 × W 10 × 55 - 2 V ノッチ

表10. シャルピー衝撃試験結果

| 鋼種 | 試験温度 (°C) | 熱 処 理 ま ま | | | | | | | |
|----|--------------|---------------------------------|--------------|---------------------------------|--------------|---------------------------------|--------------|---------------------------------|--------------|
| | | 1200°C×1h (N3) | | 1200°C×1h +750°C×1h Ⓚ | | 1200°C×1h (N4) | | 1300°C×1h +725°C×1h Ⓚ | |
| | | 衝撃値 (kgf-m/cm ²) | 延性破面率 (%) | 衝撃値 (kgf-m/cm ²) | 延性破面率 (%) | 衝撃値 (kgf-m/cm ²) | 延性破面率 (%) | 衝撃値 (kgf-m/cm ²) | 延性破面率 (%) |
| A | -100 | | | | | | | | |
| | -80 | | | | | | | | |
| | -60 | | | | | | | | |
| | -40 | 1.5 | 0 | 2.8 | 5 | 0.5 | 0 | 0.5 | 0 |
| | -20 | 2.0 | 0 | 4.0 | 5 | 0.5 | 0 | 1.0 | 0 |
| | 0 | 2.5 | 10 | 3.5 | 5 | 0.5 | 0 | 2.0 | 5 |
| | 0 | 3.5 | 15 | 3.3 | 5 | 0.5 | 0 | 2.3 | 5 |
| | 20 | 4.3 | 20 | 6.3 | 60 | 0.8 | 0 | 2.8 | 5 |
| | 40 | | | | | | | | |
| | 60 | 8.8 | 100 | 11.0 | 100 | 1.0 | 5 | 3.8 | 40 |
| | 80 | 9.3 | 100 | 10.8 | 100 | 1.3 | 5 | 5.5 | 70 |
| | 100 | 9.0 | 100 | 10.5 | 100 | 1.3 | 5 | 6.5 | 80 |

試験片形状： $t \times W \times L - 2V$ ノッチ

表11. シャルピー衝撃性質

| 鋼種 | Norma (°C) | Temper (°C) | シャルピー衝撃性質 | |
|----|---------------|----------------|---------------------------------|--------------|
| | | | vEo (kgf-m/cm ²) | vTrs (°C) |
| A | 1050 | As Norma | 5.9 | 13 |
| | | 650 | 6.0 | 13 |
| | | 700 | 11.2 | -30 |
| | | 725 | 13.7 | -30 |
| | | 750 | 16.6 | -36 |
| | | 800 | 20.6 | -55 |
| | 1100 | As Norma | 4.7 | 17 |
| | | 650 | 4.9 | 17 |
| | | 700 | 6.0 | 12 |
| | | 725 | 9.2 | -6 |
| | | 750 | 9.4 | -6 |
| | | 800 | 20.2 | -40 |
| | 1200 | As Norma | 3.0 | 33 |
| | | 750 | 3.4 | 15 |
| | 1300 | As Norma | 0.5 | - |
| | | 750 | 2.2 | 66 |

表12. シャルピー衝撃試験結果

| 鋼種 | 試験温度 (°C) | 熱処理条件 (°C) | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|--------------|---------------------------------|--------------|---------------------------------|--------------|---------------------------------|--------------|---------------------------------|--------------|---------------------------------|--------------|---------------------------------|--------------|
| | | 熱 処 理 ま ま | | | | | | | | | | | |
| | | 1050°C×1h (N1) | | 1050°C×1h +650°C×1h (1) | | 1050°C×1h +700°C×1h (2) | | 1050°C×1h +725°C×1h (3) | | 1050°C×1h +750°C×1h (4) | | 1050°C×1h +800°C×1h (5) | |
| 衝撃値 (kgf-m/cm ²) | 延性破面率 (%) | 衝撃値 (kgf-m/cm ²) | 延性破面率 (%) | 衝撃値 (kgf-m/cm ²) | 延性破面率 (%) | 衝撃値 (kgf-m/cm ²) | 延性破面率 (%) | 衝撃値 (kgf-m/cm ²) | 延性破面率 (%) | 衝撃値 (kgf-m/cm ²) | 延性破面率 (%) | 衝撃値 (kgf-m/cm ²) | 延性破面率 (%) |
| B | -100 | | | | | | | | | | | 6.0 | 5 |
| | -80 | 1.5 | 0 | 1.3 | 0 | 1.8 | 0 | 2.3 | 0 | 3.0 | 5 | | |
| | -60 | | | | | | | | | | | 8.8 | 30 |
| | -40 | 3.3 | 5 | 4.3 | 5 | 5.3 | 10 | 5.0 | 10 | 4.8 | 10 | 10.8 | 60 |
| | -20 | 3.8 | 10 | 4.3 | 10 | 5.5 | 20 | 6.5 | 40 | 6.8 | 30 | 19.8 | 100 |
| | 0 | 6.0 | 30 | 5.0 | 20 | 9.8 | 60 | 13.8 | 100 | 11.3 | 80 | 18.5 | 100 |
| | 0 | 6.3 | 30 | 5.3 | 25 | 9.8 | 70 | 14.0 | 100 | 11.5 | 85 | 18.8 | 100 |
| | 20 | 7.8 | 70 | 10.3 | 90 | 16.8 | 100 | 15.5 | 100 | 15.8 | 100 | 19.3 | 100 |
| | 40 | | | | | | | | | | | | |
| | 60 | 12.0 | 100 | 14.8 | 100 | 15.5 | 100 | 13.5 | 100 | 14.8 | 100 | 19.0 | 100 |
| | 80 | | | | | | | | | | | | |
| | 100 | 11.3 | 100 | 13.5 | 100 | 15.8 | 100 | 16.0 | 100 | 14.5 | 100 | | |

試験片形状： $t \times w \times l = 5 \times 10 \times 55 - 2V$ ノッチ

表13. シャルピー衝撃試験結果

| 鋼種 | 試験温度 (°C) | 熱処理条件 (°C) | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|--------------|---------------------------------|--------------|---------------------------------|--------------|---------------------------------|--------------|---------------------------------|--------------|---------------------------------|--------------|---------------------------------|--------------|
| | | 熱 処 理 ま ま | | | | | | | | | | | |
| | | 1100°C×1h (N2) | | 1100°C×1h +650°C×1h (6) | | 1100°C×1h +700°C×1h (7) | | 1100°C×1h +725°C×1h (8) | | 1100°C×1h +750°C×1h (9) | | 1100°C×1h +800°C×1h (10) | |
| 衝撃値 (kgf-m/cm ²) | 延性破面率 (%) | 衝撃値 (kgf-m/cm ²) | 延性破面率 (%) | 衝撃値 (kgf-m/cm ²) | 延性破面率 (%) | 衝撃値 (kgf-m/cm ²) | 延性破面率 (%) | 衝撃値 (kgf-m/cm ²) | 延性破面率 (%) | 衝撃値 (kgf-m/cm ²) | 延性破面率 (%) | 衝撃値 (kgf-m/cm ²) | 延性破面率 (%) |
| B | -100 | | | | | | | | | | | | |
| | -80 | | | 1.5 | 0 | 2.3 | 0 | 0.5 | 0 | 2.3 | 0 | 5.3 | 5 |
| | -60 | | | | | | | | | | | | |
| | -40 | 1.5 | 5 | 3.0 | 5 | 3.5 | 5 | 4.5 | 5 | 3.5 | 5 | 6.8 | 30 |
| | -20 | 3.0 | 5 | 4.5 | 10 | 5.3 | 25 | 5.3 | 20 | 5.0 | 15 | 12.5 | 60 |
| | 0 | 4.5 | 10 | 5.0 | 15 | 5.8 | 30 | 6.5 | 35 | 6.0 | 25 | 17.3 | 100 |
| | 0 | 5.5 | 20 | 5.3 | 20 | 4.0 | 20 | 7.3 | 50 | 6.0 | 30 | 17.0 | 100 |
| | 20 | 6.0 | 60 | 7.0 | 40 | 8.0 | 70 | 10.5 | 90 | 16.0 | 100 | 19.0 | 100 |
| | 40 | | | | | | | | | | | | |
| | 60 | 10.8 | 100 | 13.3 | 100 | 14.5 | 100 | 14.3 | 100 | 14.5 | 100 | 18.5 | 100 |
| | 80 | 11.0 | 100 | | | | | | | | | | |
| | 100 | 12.0 | 100 | 15.0 | 100 | 15.0 | 100 | 13.3 | 100 | 13.8 | 100 | 16.0 | 100 |

試験片形状: t 5 × w 10 × 55 - 2 V ノッチ

表14. シャルピー衝撃試験結果

| 鋼種 | 試験温度 (°C) | 熱 処 理 条 件 | | | | | | | |
|----|--------------|---------------------------------|--------------|---------------------------------|--------------|---------------------------------|--------------|---------------------------------|--------------|
| | | 1200°C×1h (N3) | | 1200°C×1h +750°C×1h QD | | 1300°C×1h (N4) | | 1300°C×1h +750°C×1h Q2 | |
| | | 衝撃値 (kgf-m/cm ²) | 延性破面率 (%) | 衝撃値 (kgf-m/cm ²) | 延性破面率 (%) | 衝撃値 (kgf-m/cm ²) | 延性破面率 (%) | 衝撃値 (kgf-m/cm ²) | 延性破面率 (%) |
| B | -100 | | | | | | | | |
| | -80 | | | | | | | | |
| | -60 | | | | | | | | |
| | -40 | 1.0 | 0 | 2.5 | 5 | 0.5 | 0 | 0.5 | 0 |
| | -20 | 1.8 | 0 | 1.3 | 0 | 0.5 | 0 | 0.8 | 0 |
| | 0 | 2.0 | 5 | 3.5 | 5 | 0.5 | 0 | 1.8 | 5 |
| | 0 | 2.5 | 5 | 4.3 | 5 | 0.8 | 0 | 3.0 | 5 |
| | 20 | 3.0 | 20 | 5.0 | 20 | 0.8 | 0 | 2.8 | 15 |
| | 40 | | | | | | | | |
| | 60 | 7.3 | 100 | 11.8 | 100 | 0.8 | 5 | 4.5 | 40 |
| | 80 | 7.8 | 100 | 11.8 | 100 | 1.0 | 5 | 6.0 | 70 |
| | 100 | 9.8 | 100 | 12.3 | 100 | 1.3 | 5 | 7.3 | 70 |

試験片形状：5×^w10×55-2Vノッチ

表15. シャルピー衝撃性質

| 鋼種 | Norma (°C) | Temper (°C) | シャルピー衝撃性質 | |
|----|---------------|----------------|---------------------------------------------|--------------|
| | | | vE ₀ (kgf-m/cm ²) | vTrs (°C) |
| B | 1050 | As Norma | 6.2 | 12 |
| | | 650 | 5.2 | 12 |
| | | 700 | 9.8 | - 8 |
| | | 725 | 13.9 | -15 |
| | | 750 | 11.4 | -15 |
| | | 800 | 18.7 | -47 |
| | 1100 | As Norma | 5.0 | 16 |
| | | 650 | 5.2 | 16 |
| | | 700 | 4.9 | 10 |
| | | 725 | 6.9 | 10 |
| | | 750 | 6.0 | 10 |
| | | 800 | 17.2 | -28 |
| | 1200 | As Norma | 2.3 | 30 |
| | | 750 | 3.9 | 30 |
| | 1300 | As Norma | 0.7 | - |
| | | 750 | 2.4 | 68 |

表16. 長時間加熱後のシャルピー衝撃試験結果

| 鋼種 | 試験温度 (°C) | 熱処理条件 | | | | | | | | | | | |
|----|-----------|---------------------------------|--------------|---------------------------------|--------------|---------------------------------|--------------|---------------------------------|--------------|---------------------------------|--------------|---------------------------------|--------------|
| | | 1050°C×1h +650°C×1h | | 1050°C×1h +700°C×1h | | 1050°C×1h +725°C×1h | | 1100°C×1h +700°C×1h | | 1100°C×1h +725°C×1h | | 1100°C×1h +750°C×1h | |
| | | 衝撃値 (kgf-m/cm ²) | 延性破面率 (%) | 衝撃値 (kgf-m/cm ²) | 延性破面率 (%) | 衝撃値 (kgf-m/cm ²) | 延性破面率 (%) | 衝撃値 (kgf-m/cm ²) | 延性破面率 (%) | 衝撃値 (kgf-m/cm ²) | 延性破面率 (%) | 衝撃値 (kgf-m/cm ²) | 延性破面率 (%) |
| A | -100 | | | | | | | | | | | | |
| | -80 | 6.0 | 10 | 6.5 | 10 | 6.5 | 10 | 6.5 | 10 | 4.8 | 5 | 5.0 | 5 |
| | -60 | | | | | | | | | | | | |
| | -40 | 10.3 | 40 | 8.8 | 30 | 10.8 | 50 | 8.8 | 30 | 8.3 | 20 | 9.0 | 30 |
| | -20 | 18.0 | 100 | 17.3 | 100 | 17.5 | 100 | 16.8 | 100 | 17.0 | 100 | 17.5 | 90 |
| | 0 | 18.8 | 100 | 17.0 | 100 | 18.0 | 100 | 17.0 | 100 | 16.5 | 100 | 20.3 | 100 |
| | 0 | 18.5 | 100 | 17.5 | 100 | 18.5 | 100 | 17.3 | 100 | 19.0 | 100 | 18.8 | 100 |
| | 20 | 17.3 | 100 | 19.0 | 100 | 20.0 | 100 | 17.8 | 100 | 19.3 | 100 | 19.0 | 100 |
| | 40 | | | | | | | | | | | | |
| | 60 | 17.3 | 100 | 17.3 | 100 | 18.3 | 100 | 19.5 | 100 | 17.5 | 100 | 18.5 | 100 |
| | 80 | | | | | | | | | | | | |
| | 100 | 19.0 | 100 | 19.0 | 100 | 17.8 | 100 | 17.5 | 100 | 16.8 | 100 | 19.5 | 100 |

試験片形状: t 5 × w 10 × 55 - 2V ノッチ

長時間加熱条件: 700°C × 200h

表17. 長時間加熱後のシャルピー衝撃性質

| 鋼種 | 熱処理条件 | | シャルピー衝撃性質 | |
|----|--------------|--------------|---------------------------------------------|--------------------------|
| | 焼ならし (°C) | 焼もどし (°C) | vE ₀ (kgf-m/cm ²) | vE _{rs} (°C) |
| A | 1050 | 650 | 18.7 | -40 |
| | | 700 | 17.3 | -40 |
| | | 725 | 18.3 | -40 |
| | 1100 | 700 | 17.2 | -30 |
| | | 725 | 17.8 | -30 |
| | | 750 | 19.6 | -30 |

長時間加熱条件： 700°C×200 h
(600°C×5年相当)

表18. かたさ試験結果

Hv : 10kg f

| 鋼種 | Temper Norma | 条 件 | | | | | |
|----|--------------------|-----|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | | 650°C × 1 h AC | 700°C × 1 h AC | 725°C × 1 h AC | 750°C × 1 h AC | 800°C × 1 h AC |
| A | 1050°C × 1 h AC | 445 | 321 | 306 | 291 | 269 | 235 |
| | 1100°C × 1 h AC | 449 | 336 | 313 | 300 | 291 | 237 |
| | 1200°C × 1 h AC | 443 | — | — | — | 319 | — |
| | 1300°C × 1 h AC | 448 | — | — | — | 315 | — |

数値は5点平均値

Hv : 10kg f

| 鋼種 | Temper Norma | 条 件 | | | | | |
|----|--------------------|-----|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | | 650°C × 1 h AC | 700°C × 1 h AC | 725°C × 1 h AC | 750°C × 1 h AC | 800°C × 1 h AC |
| B | 1050°C × 1 h AC | 453 | 328 | 305 | 299 | 283 | 237 |
| | 1100°C × 1 h AC | 449 | 334 | 311 | 303 | 299 | 244 |
| | 1200°C × 1 h AC | 466 | — | — | — | 320 | — |
| | 1300°C × 1 h AC | 453 | — | — | — | 325 | — |

数値は5点平均値

表19. 長時間加熱後のかたさ試験結果

Hv : 10kg f

| 鋼種 | Temper Norma | 焼もどし条件 | | | |
|----|-----------------|----------|----------|----------|----------|
| | | 650°C×1h | 700°C×1h | 725°C×1h | 750°C×1h |
| A | 1050°C×1h | 241 | 238 | 239 | — |
| | 1100°C×1h | — | 236 | 239 | 238 |

数値は5点平均値

長時間加熱条件：700°C×200h (600°C×5年相当)

表20. 抽出殘渣分析結果

| 鋼種 | Norma Temper 溫度(°C) 成分 | 1050°C | | | | | | 1100°C | | | | | | 1200°C | | | | | | 1300°C | | | | | | | | | |
|----|---------------------------------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|--------|------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | | Fe | Cr | Mo | Ni | W | V | Nb | Fe | Cr | Mo | Ni | W | V | Nb | Fe | Cr | Mo | Ni | W | V | Nb | Fe | Cr | Mo | Ni | W | V | Nb |
| A | As Norma | 0.12 | 0.024 | <0.001 | <0.001 | 0.007 | 0.004 | 0.054 | 0.14 | 0.022 | <0.001 | 0.001 | 0.007 | 0.003 | 0.042 | 0.13 | 0.023 | <0.001 | 0.001 | 0.007 | 0.001 | 0.010 | 0.14 | 0.027 | <0.001 | 0.001 | 0.008 | 0.005 | 0.009 |
| | 650 | 0.34 | 1.29 | 0.070 | 0.006 | 0.20 | 0.066 | 0.063 | 0.36 | 1.33 | 0.070 | 0.006 | 0.21 | 0.065 | 0.057 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 700 | 0.39 | 1.33 | 0.065 | 0.006 | 0.21 | 0.084 | 0.064 | 0.40 | 1.34 | 0.067 | 0.007 | 0.22 | 0.083 | 0.061 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 725 | 0.41 | 1.33 | 0.061 | 0.006 | 0.21 | 0.097 | 0.067 | 0.41 | 1.29 | 0.059 | 0.005 | 0.21 | 0.097 | 0.063 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 750 | 0.42 | 1.33 | 0.058 | 0.005 | 0.21 | 0.10 | 0.066 | 0.44 | 1.32 | 0.057 | 0.006 | 0.21 | 0.11 | 0.066 | 0.45 | 1.29 | 0.058 | 0.006 | 0.21 | 0.11 | 0.059 | 0.43 | 1.23 | 0.057 | 0.005 | 0.21 | 0.11 | 0.058 |
| | 800 | 0.43 | 1.31 | 0.054 | 0.005 | 0.20 | 0.11 | 0.068 | 0.44 | 1.28 | 0.052 | 0.005 | 0.20 | 0.12 | 0.069 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| B | As Norma | 0.14 | 0.024 | 0.001 | 0.001 | 0.010 | 0.004 | 0.046 | 0.16 | 0.024 | 0.001 | 0.001 | 0.009 | 0.003 | 0.036 | 0.16 | 0.025 | 0.001 | 0.001 | 0.010 | 0.001 | 0.006 | 0.17 | 0.030 | 0.001 | 0.001 | 0.010 | 0.003 | 0.006 |
| | 650 | 0.39 | 1.38 | 0.077 | 0.007 | 0.23 | 0.066 | 0.056 | 0.42 | 1.31 | 0.067 | 0.007 | 0.22 | 0.071 | 0.047 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 700 | 0.43 | 1.39 | 0.070 | 0.007 | 0.23 | 0.081 | 0.057 | 0.38 | 1.35 | 0.075 | 0.007 | 0.22 | 0.059 | 0.050 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 725 | 0.46 | 1.41 | 0.067 | 0.007 | 0.23 | 0.097 | 0.059 | 0.46 | 1.36 | 0.066 | 0.006 | 0.23 | 0.088 | 0.053 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 750 | 0.46 | 1.35 | 0.064 | 0.007 | 0.22 | 0.096 | 0.058 | 0.49 | 1.40 | 0.067 | 0.007 | 0.24 | 0.096 | 0.056 | 0.53 | 1.35 | 0.066 | 0.006 | 0.24 | 0.10 | 0.050 | 0.53 | 1.37 | 0.067 | 0.006 | 0.24 | 0.11 | 0.051 |
| | 800 | 0.49 | 1.33 | 0.056 | 0.006 | 0.22 | 0.12 | 0.061 | 0.50 | 1.36 | 0.059 | 0.006 | 0.23 | 0.11 | 0.061 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

表21. ラップ管の品質管理要領

| No | 工 程 | 内 容 | 主要使用設備 | 管理のポイント |
|----|-----------|----------------------------|----------------------|-----------------------------------------|
| 1 | 溶 解 | 真空中溶解 | 真空溶解炉 | 配合成分 |
| 2 | 試 験 | インゴット分析 | 分析装置 | インゴット成分 |
| 3 | 鍛 造 | 丸鋼鍛造 | 鍛造用プレス | 加工温度 表面状況チェック 寸法チェック |
| 4 | 試 験 | — | — | 鋼質試験 |
| 5 | ピレット旋削 | 押出用ピレット製造 (248φ) | 旋 盤 | 表面・寸法精度 |
| 6 | 検 査 | 外観検査 寸法検査 火花試験 | — — — | |
| 7 | 熱 間 製 管 | 素管製造 (172φ×13.5t) | ユジーンセジュールネ式 押出プレス | 加熱温度 1200±20℃ 潤滑剤 押出温度・工具 寸法精度 |
| 8 | ガ ラ ス 除 去 | 素管ガラス落し | 酸洗装置 | 溶液濃度 温度・時間 表面状況チェック |
| 9 | 素 管 検 査 | 外観・寸法検査 必要に応じ手入 火花試験 | — | 表面状況 寸法精度チェック |
| 10 | 表 面 処 理 | 潤滑処理 | 潤滑処理装置 | 潤滑剤濃度 温度・時間 |
| 11 | 冷 間 抽 伸 | — | 冷間抽伸機 | 寸法・表面状況 加工度・工具 |
| 12 | 脱 脂 | アルカリ脱脂 | 脱脂装置 | 溶液濃度 温度・時間 |
| 13 | 熱 処 理 | 軟 化 | 連続式熱処理炉 | 加熱温度・時間 780℃×10分 |
| 14 | デ ス ケ ー ル | 酸 洗 | 酸洗装置 | 溶液濃度 温度・時間 |

| No | 工 程 | 内 容 | 主要使用設備 | 管理のポイント |
|----|----------------------------|-----------------|----------------------|-------------------------------------|
| 15 | 検 査 | 外観検査 必要に応じ手入 | - | 表面状況 |
| 16 | 〔 10~15の 必要回数 くり返し 〕 | | | 抽伸回数3回 |
| 17 | | 肉 厚 測 定 | 六角成形抽伸前の 原管について実施 | 超音波肉厚測定装置 |
| 18 | 超 音 波 探 傷 | 同 上 | 超音波探傷装置 | |
| 19 | 表 面 処 理 | 潤滑処理 | 潤滑処理装置 | 潤滑剤濃度 温度・時間 |
| 20 | 冷 間 抽 伸 | 六角成形加工 | 冷間抽伸機 | 寸法・表面状況 加工度 工 具 |
| 21 | 脱 脂 | アルカリ脱脂 | 脱脂装置 | 洗浄溶液 濃度・温度 浸漬時間 |
| 22 | 熱 処 理 | 最終熱処理 | 連続式熱処理炉 | 1045±10℃×10分 A C 700±10℃×60分 A C |
| 23 | デ ス ケ ー ル | 酸 洗 | 酸洗装置 | 溶液濃度 温度・時間 |
| 24 | 表 面 処 理 | 潤滑処理 | 潤滑処理装置 | 潤滑剤濃度 温度・時間 |
| 25 | 最終冷間抽伸 | | 冷間抽伸機 | 寸法・表面状況 加工度 工 具 |
| 26 | 脱 脂 | アルカリ脱脂 | 脱脂装置 | 洗浄溶液 濃度・温度 浸漬時間 |
| 27 | 曲 直 | | 曲り矯正機 | 仕様規定真直度 仕様規定ねじれ |

| No | 工 程 | 内 容 | 主要使用設備 | 管理のポイント |
|----|---------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|------------------|
| 28 | 切 削 | パッド部成形加工 (六角形状中子を 挿入した特殊切 削加工) | 精密加工機 | 寸 法 表面状況 |
| 29 | 切 断 | | コールドソー | 端面仕上状況 長さチェック |
| | | 試験材採取 | | 仕様規定による |
| 30 | 表 面 仕 上 | スコッチブライトに て研磨する | | 表面状況 粗 さ |
| 31 | 洗 浄 | アセトン洗浄 内外面洗浄 | — — | |
| 32 | 最 終 検 査 | 外観検査 外径測定 内径測定 肉厚測定 真直度測定 ねじれ測定 長さ測定 角部 R | マイクロメーター 超音波肉厚測定装置 } 定盤, スキマゲージ } 巻尺 } Rゲージ | } 仕様の規定による |
| 33 | 破 壊 試 験 | 化学成分 結晶粒度, 介在物 かたさ試験 室温引張試験 高温引張試験 衝撃試験 | 分析装置 光学顕微鏡 ビッカース硬度計 引張試験装置 高温引張試験装置 シャルピー衝撃試験機 | } 仕様の規定による |
| 34 | 最 終 洗 浄 | アセトン洗浄 内外面洗浄 | — — | — |
| 35 | 洗 浄 検 査 | 表面洗浄度試験 | — | 仕様の規定による |
| 36 | 立 会 検 査 | — | — | 仕様の規定による |
| 37 | 包 装 | 1本毎ポリシートで 包装 | | |
| 38 | 梱 包 | | | 仕様の規定による |
| 39 | 出 荷 | | | |

表22. ラッパ管の最終熱処理条件

| | 熱処理条件 |
|------|-------------|
| 焼ならし | 1045℃ × 10分 |
| 焼もどし | 700℃ × 60分 |

表23. ラッパ管の化学成分

(wt %)

| | C | Si | Mn | P | S | Ni | Cr | Mo | Co | N | Nb+Ta | V | W |
|---------------|---------------|------|-------------|-------|-------|-------------|---------------|-------------|-------|---------------|---------------|---------------|-------------|
| 仕様 | 0.10 ~0.14 | <0.1 | 0.4 ~0.8 | ≦0.02 | ≦0.02 | 0.2 ~0.6 | 10.0 ~12.0 | 0.2 ~0.6 | <0.01 | 0.03 ~0.07 | 0.04 ~0.09 | 0.14 ~0.22 | 1.5 ~2.0 |
| 目標 | 0.12 | 0.05 | 0.6 | ≦0.02 | ≦0.02 | 0.4 | 11.0 | 0.4 | <0.01 | 0.05 | 0.06 | 0.18 | 1.7 |
| レードル (トップ) | 0.13 | 0.02 | 0.66 | 0.002 | 0.002 | 0.45 | 10.99 | 0.40 | 0.003 | 0.05 | 0.07 | 0.17 | 1.79 |
| (ボトム) | 0.12 | 0.03 | 0.65 | 0.002 | 0.002 | 0.44 | 10.95 | 0.42 | 0.004 | 0.05 | 0.06 | 0.18 | 1.80 |
| チェック | 0.13 | 0.03 | 0.64 | 0.002 | 0.002 | 0.45 | 10.95 | 0.44 | 0.005 | 0.05 | 0.07 | 0.18 | 1.82 |

表24. 外側対面間距離測定結果

| 製品 No | 外側対面間距離 | | | | | | | | | |
|---------|------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------------------|--------|--------|--------|
| | 管部 : 110.6 | | | | | | パッド部 : 114.8 ± 0.60 | | | |
| | A - D | | | B - E | | | C - F | | | |
| | I | II | III | I | II | III | I | II | III | |
| 63WFS 1 | 110.89 | 110.88 | 110.87 | 110.99 | 111.01 | 111.01 | 110.92 | 110.94 | 110.94 | 管部 1 |
| | 110.96 | 110.96 | 110.95 | 110.82 | 110.81 | 110.83 | 111.05 | 111.10 | 111.08 | 管部 2 |
| | 111.01 | 110.97 | 110.97 | 110.90 | 110.80 | 110.90 | 110.90 | 110.82 | 110.89 | 管部 3 |
| | 111.08 | 111.07 | 111.07 | 110.99 | 110.94 | 110.96 | 110.97 | 110.92 | 110.90 | 管部 7 |
| | 111.10 | 111.10 | 111.09 | 110.99 | 110.91 | 110.98 | 110.98 | 110.84 | 110.98 | 管部 8 |
| | 110.85 | 110.85 | 110.85 | 110.91 | 110.95 | 110.91 | 110.88 | 110.91 | 110.91 | 管部 9 |
| | 115.35 | 115.36 | 115.36 | 115.29 | 115.27 | 115.23 | 115.26 | 115.21 | 115.29 | パッド部 4 |
| | 115.33 | 115.34 | 115.33 | 115.24 | 115.23 | 115.18 | 115.22 | 115.17 | 115.21 | パッド部 5 |
| 63WFS 2 | 110.90 | 110.87 | 110.89 | 110.93 | 110.95 | 110.98 | 110.95 | 110.97 | 110.96 | 管部 1 |
| | 110.93 | 110.88 | 110.93 | 110.98 | 110.99 | 111.02 | 111.01 | 111.02 | 110.96 | 管部 2 |
| | 110.96 | 110.93 | 110.96 | 110.90 | 110.87 | 110.95 | 110.98 | 110.98 | 111.00 | 管部 3 |
| | 111.02 | 111.00 | 110.98 | 111.01 | 110.92 | 110.97 | 111.08 | 111.06 | 111.09 | 管部 7 |
| | 110.85 | 110.81 | 110.87 | 111.04 | 111.06 | 111.08 | 111.00 | 111.07 | 111.08 | 管部 8 |
| | 110.85 | 110.88 | 110.89 | 110.97 | 110.98 | 110.99 | 110.96 | 110.99 | 110.95 | 管部 9 |
| | 115.36 | 115.36 | 115.34 | 115.24 | 115.21 | 115.33 | 115.35 | 115.38 | 115.35 | パッド部 4 |
| | 115.35 | 115.34 | 115.34 | 115.24 | 115.21 | 115.30 | 115.34 | 115.32 | 115.30 | パッド部 5 |
| 63WFS 3 | 111.02 | 110.99 | 110.99 | 110.88 | 110.90 | 110.90 | 110.84 | 110.88 | 110.88 | 管部 1 |
| | 111.04 | 111.02 | 111.00 | 110.90 | 110.86 | 110.85 | 110.88 | 110.85 | 110.84 | 管部 2 |
| | 111.02 | 111.02 | 111.10 | 110.78 | 110.70 | 110.82 | 110.93 | 110.82 | 110.88 | 管部 3 |
| | 111.13 | 111.09 | 111.08 | 110.84 | 110.71 | 110.88 | 111.00 | 110.92 | 110.93 | 管部 7 |
| | 111.00 | 110.99 | 111.00 | 110.98 | 110.95 | 110.94 | 110.88 | 110.83 | 110.86 | 管部 8 |
| | 110.98 | 110.99 | 111.99 | 110.90 | 110.90 | 110.91 | 110.98 | 110.97 | 110.96 | 管部 9 |
| | 115.29 | 115.33 | 115.35 | 115.15 | 115.10 | 115.12 | 115.34 | 115.32 | 115.28 | パッド部 4 |
| | 115.29 | 115.31 | 115.31 | 115.13 | 115.07 | 115.12 | 115.33 | 115.28 | 115.26 | パッド部 5 |
| 115.33 | 115.34 | 115.34 | 115.17 | 115.12 | 115.15 | 115.29 | 115.29 | 115.26 | パッド部 6 | |

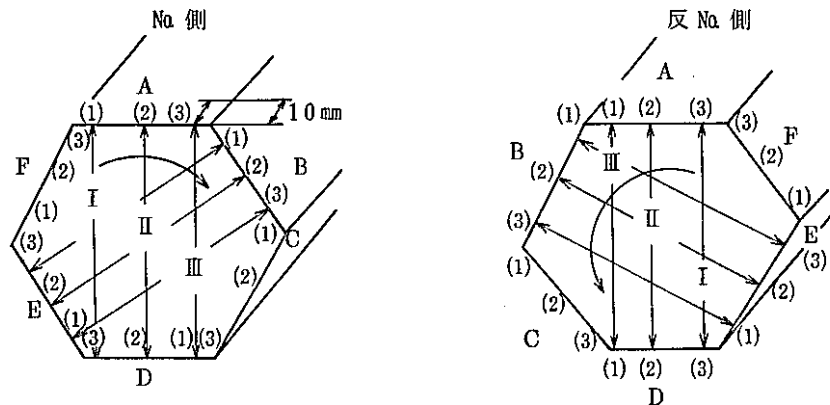
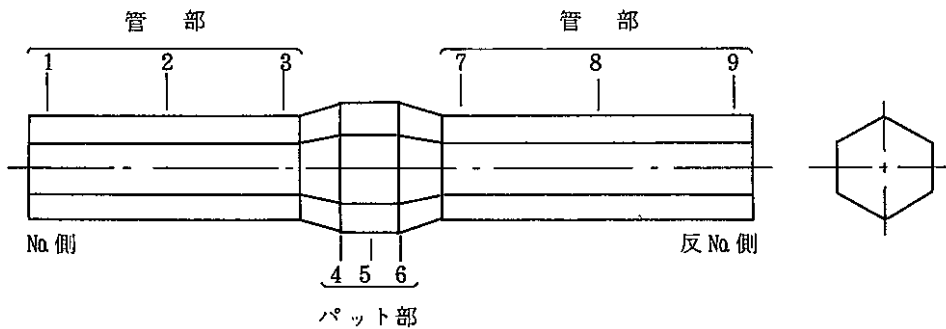


表25. 内側対面間距離測定結果

| 製品 No | 内側対面間距離 | | | | | | | | | 平均値 | |
|--------|-----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| | 104.60±0.40 (目標±0.25) | | | | | | | | | | |
| | A - D | | | B - E | | | C - F | | | | |
| | I | II | III | I | II | III | I | II | III | | |
| 63WFS1 | 104.72 | 104.74 | 104.71 | 104.76 | 104.84 | 104.77 | 104.78 | 104.75 | 104.76 | 104.76 | 管部1 |
| | 104.72 | 104.76 | 104.70 | 104.61 | 104.69 | 104.62 | 104.86 | 104.89 | 104.87 | 104.75 | 管部2 |
| | 104.87 | 104.92 | 104.82 | 104.78 | 104.77 | 104.77 | 104.76 | 104.77 | 104.74 | 104.80 | 管部3 |
| | 104.86 | 104.90 | 104.80 | 104.69 | 104.76 | 104.73 | 104.75 | 104.70 | 104.74 | 104.77 | パッド部4 |
| | 104.87 | 104.89 | 104.82 | 104.67 | 104.74 | 104.71 | 104.75 | 104.69 | 104.69 | 104.76 | パッド部5 |
| | 104.87 | 104.88 | 104.82 | 104.69 | 104.71 | 104.71 | 104.73 | 104.69 | 104.72 | 104.76 | パッド部6 |
| | 104.91 | 104.92 | 104.86 | 104.74 | 104.78 | 104.76 | 104.75 | 104.71 | 104.64 | 104.79 | 管部7 |
| | 104.90 | 104.97 | 104.88 | 104.74 | 104.76 | 104.77 | 104.66 | 104.58 | 104.70 | 104.77 | 管部8 |
| 104.75 | 104.76 | 104.71 | 104.76 | 104.82 | 104.79 | 104.81 | 104.85 | 104.83 | 104.79 | 管部9 | |
| 63WFS2 | 104.74 | 104.74 | 104.74 | 104.78 | 104.81 | 104.80 | 104.73 | 104.79 | 104.78 | 104.77 | 管部1 |
| | 104.72 | 104.78 | 104.72 | 104.82 | 104.82 | 104.82 | 104.79 | 104.79 | 104.77 | 104.78 | 管部2 |
| | 104.80 | 104.87 | 104.82 | 104.76 | 104.74 | 104.73 | 104.80 | 104.88 | 104.83 | 104.80 | 管部3 |
| | 104.75 | 104.81 | 104.78 | 104.73 | 104.68 | 104.74 | 104.75 | 104.80 | 104.78 | 104.76 | パッド部4 |
| | 104.75 | 104.79 | 104.78 | 104.76 | 104.69 | 104.72 | 104.78 | 104.75 | 104.76 | 104.75 | パッド部5 |
| | 104.75 | 104.80 | 104.76 | 104.73 | 104.67 | 104.70 | 104.73 | 104.76 | 104.75 | 104.74 | パッド部6 |
| | 104.76 | 104.87 | 104.80 | 104.80 | 104.73 | 104.73 | 104.74 | 104.81 | 104.81 | 104.78 | 管部7 |
| | 104.69 | 104.74 | 104.67 | 104.84 | 104.86 | 104.82 | 104.77 | 104.80 | 104.80 | 104.78 | 管部8 |
| 104.77 | 104.81 | 104.79 | 104.83 | 104.82 | 104.82 | 104.77 | 104.79 | 104.76 | 104.80 | 管部9 | |
| 63WFS3 | 104.96 | 104.94 | 104.89 | 104.78 | 104.83 | 104.86 | 104.83 | 104.83 | 104.76 | 104.85 | 管部1 |
| | 104.85 | 104.89 | 104.86 | 104.77 | 104.76 | 104.75 | 104.76 | 104.75 | 104.81 | 104.80 | 管部2 |
| | 104.88 | 104.94 | 104.97 | 104.63 | 104.62 | 104.64 | 104.85 | 104.79 | 104.84 | 104.80 | 管部3 |
| | 104.86 | 104.92 | 104.90 | 104.59 | 104.55 | 104.54 | 104.80 | 104.78 | 104.77 | 104.75 | パッド部4 |
| | 104.86 | 104.87 | 104.86 | 104.59 | 104.55 | 104.57 | 104.82 | 104.77 | 104.79 | 104.74 | パッド部5 |
| | 104.85 | 104.87 | 104.85 | 104.60 | 104.57 | 104.58 | 104.79 | 104.77 | 104.77 | 104.74 | パッド部6 |
| | 104.92 | 104.91 | 104.86 | 104.65 | 104.58 | 104.63 | 104.81 | 104.79 | 104.80 | 104.77 | 管部7 |
| | 104.77 | 104.84 | 104.81 | 104.82 | 104.87 | 104.82 | 104.66 | 104.64 | 104.70 | 104.77 | 管部8 |
| 104.86 | 104.90 | 104.84 | 104.83 | 104.84 | 104.79 | 104.89 | 104.85 | 104.84 | 104.85 | 管部9 | |

表26. 肉 厚 測 定 結 果

| 製 品 No | 肉 厚 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|-----------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|
| | 管 部 : 3.00±0.25 (目標±0.20) パッド部 : 5.10±0.50 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | A | | | B | | | C | | | D | | | E | | | F | | | |
| | (1) | (2) | (3) | (1) | (2) | (3) | (1) | (2) | (3) | (1) | (2) | (3) | (1) | (2) | (3) | (1) | (2) | (3) | |
| 63WFS1 | 3.03 | 3.06 | 3.07 | 3.12 | 3.07 | 3.13 | 3.07 | 3.08 | 3.08 | 3.09 | 3.08 | 3.14 | 3.11 | 3.10 | 3.11 | 3.10 | 3.11 | 3.07 | 管 部 1 |
| | 3.10 | 3.10 | 3.13 | 3.13 | 3.04 | 3.12 | 3.12 | 3.10 | 3.06 | 3.12 | 3.10 | 3.14 | 3.09 | 3.08 | 3.08 | 3.15 | 3.11 | 3.07 | 管 部 2 |
| | 3.02 | 3.02 | 3.06 | 3.11 | 2.97 | 3.01 | 3.09 | 3.05 | 3.05 | 3.09 | 3.03 | 3.12 | 3.12 | 3.06 | 3.01 | 3.10 | 3.00 | 3.05 | 管 部 3 |
| | 2.99 | 3.05 | 3.08 | 3.13 | 3.04 | 3.08 | 3.09 | 3.10 | 3.12 | 3.13 | 3.10 | 3.18 | 3.12 | 3.12 | 3.12 | 3.14 | 3.11 | 3.13 | 管 部 7 |
| | 3.03 | 3.02 | 3.09 | 3.12 | 3.03 | 3.08 | 3.13 | 3.14 | 3.13 | 3.12 | 3.11 | 3.17 | 3.13 | 3.12 | 3.13 | 3.15 | 3.12 | 3.10 | 管 部 8 |
| | 3.02 | 3.02 | 3.09 | 3.09 | 3.05 | 3.03 | 3.05 | 3.03 | 3.04 | 3.05 | 3.07 | 3.08 | 3.09 | 3.08 | 3.06 | 3.06 | 3.03 | 3.02 | 管 部 9 |
| | 5.26 | 5.27 | 5.31 | 5.34 | 5.26 | 5.27 | 5.24 | 5.26 | 5.29 | 5.25 | 5.19 | 5.23 | 5.23 | 5.25 | 5.26 | 5.26 | 5.25 | 5.27 | パッド部 4 |
| | 5.24 | 5.26 | 5.29 | 5.33 | 5.25 | 5.25 | 5.22 | 5.24 | 5.26 | 5.22 | 5.19 | 5.22 | 5.22 | 5.24 | 5.24 | 5.26 | 5.24 | 5.25 | パッド部 5 |
| | 5.26 | 5.28 | 5.32 | 5.35 | 5.26 | 5.27 | 5.26 | 5.27 | 5.27 | 5.21 | 5.18 | 5.23 | 5.24 | 5.26 | 5.26 | 5.28 | 5.55 | 5.26 | パッド部 6 |
| 63WFS2 | 3.04 | 3.02 | 3.02 | 3.04 | 3.06 | 3.06 | 3.11 | 3.08 | 3.08 | 3.13 | 3.11 | 3.12 | 3.12 | 3.08 | 3.11 | 3.10 | 3.10 | 3.11 | 管 部 1 |
| | 3.10 | 3.03 | 3.05 | 3.07 | 3.08 | 3.10 | 3.11 | 3.11 | 3.08 | 3.16 | 3.07 | 3.11 | 3.10 | 3.09 | 3.09 | 3.11 | 3.12 | 3.11 | 管 部 2 |
| | 3.06 | 3.01 | 3.02 | 3.06 | 3.05 | 3.08 | 3.08 | 3.07 | 3.12 | 3.12 | 3.05 | 3.10 | 3.14 | 3.08 | 3.08 | 3.05 | 3.03 | 3.10 | 管 部 3 |
| | 3.11 | 3.05 | 3.06 | 3.06 | 3.05 | 3.08 | 3.15 | 3.15 | 3.18 | 3.12 | 3.08 | 3.15 | 3.16 | 3.14 | 3.15 | 3.10 | 3.10 | 3.19 | 管 部 7 |
| | 3.04 | 3.00 | 3.08 | 3.07 | 3.10 | 3.14 | 3.14 | 3.15 | 3.16 | 3.12 | 3.07 | 3.12 | 3.12 | 3.10 | 3.13 | 3.12 | 3.12 | 3.09 | 管 部 8 |
| | 2.99 | 3.02 | 3.07 | 3.04 | 3.07 | 3.09 | 3.07 | 3.09 | 3.10 | 3.03 | 3.05 | 3.09 | 3.08 | 3.09 | 3.10 | 3.09 | 3.11 | 3.12 | 管 部 9 |
| | 5.30 | 5.25 | 5.24 | 5.24 | 5.22 | 5.24 | 5.29 | 5.31 | 5.31 | 5.32 | 5.30 | 5.31 | 5.35 | 5.31 | 5.27 | 5.26 | 5.27 | 5.31 | パッド部 4 |
| | 5.29 | 5.25 | 5.25 | 5.21 | 5.22 | 5.25 | 5.26 | 5.30 | 5.30 | 5.31 | 5.30 | 5.31 | 5.33 | 5.30 | 5.27 | 5.24 | 5.27 | 5.30 | パッド部 5 |
| | 5.28 | 5.25 | 5.26 | 5.20 | 5.22 | 5.29 | 5.28 | 5.30 | 5.34 | 5.33 | 5.30 | 5.33 | 5.32 | 5.31 | 5.30 | 5.26 | 5.29 | 5.35 | パッド部 6 |
| 63WFS3 | 2.98 | 2.98 | 3.00 | 2.98 | 2.99 | 2.94 | 3.08 | 3.06 | 3.06 | 3.10 | 3.07 | 3.08 | 3.10 | 3.08 | 3.12 | 3.06 | 2.99 | 2.93 | 管 部 1 |
| | 3.10 | 3.06 | 3.05 | 3.07 | 3.05 | 3.05 | 3.11 | 3.06 | 2.97 | 3.09 | 3.07 | 3.09 | 3.05 | 3.05 | 3.06 | 3.06 | 3.04 | 3.01 | 管 部 2 |
| | 3.07 | 3.03 | 3.06 | 3.10 | 3.05 | 3.12 | 3.11 | 3.04 | 3.04 | 3.07 | 3.05 | 3.07 | 3.06 | 3.03 | 3.05 | 3.00 | 2.99 | 2.97 | 管 部 3 |
| | 3.06 | 3.05 | 3.07 | 3.09 | 3.05 | 3.13 | 3.14 | 3.10 | 3.10 | 3.15 | 3.13 | 3.15 | 3.17 | 3.08 | 3.10 | 3.03 | 3.03 | 3.05 | 管 部 7 |
| | 3.09 | 3.05 | 3.07 | 3.09 | 3.04 | 3.11 | 3.15 | 3.12 | 3.10 | 3.12 | 3.10 | 3.14 | 3.01 | 3.04 | 3.07 | 3.06 | 3.07 | 3.07 | 管 部 8 |
| | 3.00 | 3.02 | 3.04 | 2.97 | 3.00 | 3.05 | 3.05 | 3.06 | 3.08 | 3.11 | 3.07 | 3.12 | 3.07 | 3.06 | 3.10 | 3.04 | 3.06 | 3.04 | 管 部 9 |
| | 5.15 | 5.18 | 5.25 | 5.23 | 5.24 | 5.28 | 5.29 | 5.27 | 5.24 | 5.20 | 5.23 | 5.28 | 5.30 | 5.31 | 5.33 | 5.27 | 5.27 | 5.25 | パッド部 4 |
| | 5.15 | 5.18 | 5.22 | 5.23 | 5.22 | 5.25 | 5.28 | 5.26 | 5.23 | 5.23 | 5.26 | 5.28 | 5.30 | 5.30 | 5.31 | 5.24 | 5.25 | 5.23 | パッド部 5 |
| | 5.18 | 5.19 | 5.23 | 5.24 | 5.24 | 5.28 | 5.27 | 5.27 | 5.25 | 5.26 | 5.28 | 5.30 | 5.29 | 5.31 | 5.33 | 5.24 | 5.25 | 5.23 | パッド部 6 |

表27. パッド部寸法測定結果

| 製品No | 外 観 | 長 さ | パ ッ ド 位 置 | | | パ ッ ド 長 さ (底 部) | | | | | | パ ッ ド 長 さ (頂 部) | | | | | |
|---------|--------|-------------------|-----------|--------|--------|-------------------|------|------|------|------|------|-------------------|------|------|------|------|------|
| | | 3020^{+10}_{-0} | 1695±5 | | | 80±10 | | | | | | 40^{+7}_{-1} | | | | | |
| | | | A | C | E | A | B | C | D | E | F | A | B | C | D | E | F |
| 63WF S1 | 合 | 3027.0 | 1696.0 | 1696.0 | 1695.5 | 80.5 | 80.0 | 79.0 | 79.5 | 79.5 | 79.0 | 44.0 | 43.0 | 44.0 | 44.5 | 44.0 | 43.0 |
| 63WF S2 | 合 | 3026.0 | 1695.5 | 1695.5 | 1695.5 | 79.5 | 79.0 | 80.0 | 80.0 | 79.5 | 80.0 | 42.0 | 42.5 | 42.5 | 42.5 | 42.5 | 42.5 |
| 63WF S3 | 合 | 3027.0 | 1697.0 | 1696.5 | 1696.5 | 80.0 | 80.0 | 79.5 | 80.0 | 80.0 | 80.0 | 44.5 | 43.0 | 42.5 | 43.5 | 43.0 | 43.0 |

表28. 内側角部曲率半径測定結果

| 製品No | 内 側 角 部 曲 率 半 径 | | | | | | | | | | | |
|---------|-----------------|----|----|----|----|----|--------|----|----|----|----|----|
| | R 4.5 ± 0.5 R | | | | | | | | | | | |
| | No 側 | | | | | | 反 No 側 | | | | | |
| | AB | BC | CD | DE | EF | FA | AB | BC | CD | DE | EF | FA |
| 63WF S1 | 44 | 44 | 44 | 44 | 44 | 44 | 44 | 44 | 44 | 44 | 44 | 44 |
| 63WF S2 | 44 | 44 | 44 | 44 | 44 | 44 | 44 | 44 | 44 | 44 | 44 | 44 |
| 63WF S3 | 44 | 44 | 44 | 44 | 44 | 44 | 44 | 44 | 44 | 44 | 44 | 44 |

表29. 真直度，ねじれ検査結果

| 製品 No. | 真 直 度 | | | | | | ね じ れ | | | | | | 位置 |
|---------|-------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|----|
| | <1.00 | | | | | | <0.50 | | | | | | |
| | A | B | C | D | E | F | A | B | C | D | E | F | |
| | 1730 | 2255 | 2565 | 1380 | 2405 | 2400 | 326 | 1340 | 1325 | 643 | 1275 | 1340 | |
| 63WF S1 | 0.45 | 0.85 | 0.48 | 0.48 | 0.80 | 0.71 | 0.09 | 0.21 | 0.21 | 0.08 | 0.17 | 0.22 | |
| | 2240 | 2210 | 1380 | 2310 | 2320 | 1435 | 1325 | 1310 | 326 | 1784 | 1310 | 2193 | |
| 63WF S2 | 0.79 | 0.79 | 0.20 | 0.70 | 0.84 | 0.18 | 0.14 | 0.15 | 0.09 | 0.17 | 0.19 | 0.21 | |
| | 1510 | 820 | 2340 | 1250 | 600 | 2210 | 1784 | 1784 | 643 | 1784 | 1375 | 1375 | |
| 63WF S3 | 0.37 | 0.67 | 0.81 | 0.37 | 0.63 | 0.87 | 0.11 | 0.16 | 0.15 | 0.15 | 0.16 | 0.16 | |

表30. 非金属介在物測定結果 (ASTM-A法)

| 管 No. | A | | B | | C | | D | |
|---------|---|---|---|---|-----|---|-----|---|
| | T | H | T | H | T | H | T | H |
| 63WF S3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.5 | 0 | 4.5 | 0 |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.5 | 0 | 4.0 | 0 |

表31. ASTM粒度No測定結果 (参考値)

| 管 No. | ASTM粒度No | |
|---------|-----------|-----|
| | (横断面) | 目標値 |
| 63WF S3 | 9.3 , 9.5 | ≥5 |

表32. ラッパ管の引張試験結果 (管No.63FWFS3)

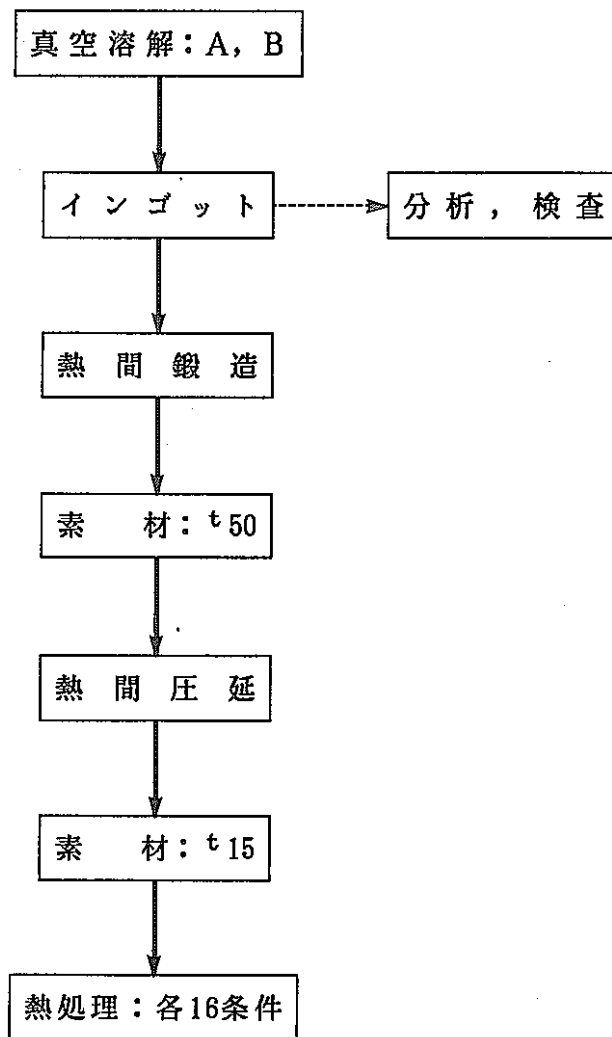
| 試験温度(°C) | 位置 項目 | 管 部 | | | パ ッ ド 部 | | |
|----------|----------|--------------------------------|----------------------------------|------------|--------------------------------|----------------------------------|------------|
| | | 引張強さ (kgf/mm ²) | 0.2%耐力 (kgf/mm ²) | 伸 び (%) | 引張強さ (kgf/mm ²) | 0.2%耐力 (kgf/mm ²) | 伸 び (%) |
| 室 温 | | 99.6 | 87.7 | 14.0 | 99.5 | 88.4 | 13.0 |
| 600 | | 53.1 | 46.7 | 18.0 | 51.4 | 46.6 | 18.0 |
| 650 | | 42.8 | 35.5 | 18.0 | 43.0 | 35.0 | 20.0 |
| 700 | | 28.8 | 24.0 | 13.0 | 29.7 | 25.5 | 15.0 |
| 室 温 | 規 定 | ≧70 | ≧60 | >10 | ≧70 | ≧60 | >10 |
| 650°C | 規 定 | ≧40 | ≧30 | >7 | ≧40 | ≧30 | >7 |

試験片形状：J I S 13号B；12.5^W×GL50

表33. シャルピー衝撃試験結果

| 試験温度(°C) | 管No | 63WF S3 | | | |
|-------------------------|-----|-----------------------------------|--------------|-----------------------------------|--------------|
| | 位置 | 管 部 | | パ ッ ド 部 | |
| | 項目 | 衝 撃 値 (kgf-m/cm ²) | 延性破面率 (%) | 衝 撃 値 (kgf-m/cm ²) | 延性破面率 (%) |
| -100 | | 3.5 | 10 | 3.0 | 5 |
| | | 3.5 | 5 | 4.0 | 15 |
| -75 | | 4.5 | 20 | 5.0 | 40 |
| | | 5.0 | 20 | 4.5 | 25 |
| -50 | | 5.5 | 65 | 5.5 | 65 |
| | | 6.0 | 70 | 5.5 | 65 |
| 0 | | 10.0 | 100 | 10.0 | 100 |
| | | 10.0 | 100 | 10.0 | 100 |
| 50 | | 8.5 | 100 | 10.0 | 100 |
| | | 10.5 | 100 | 8.5 | 100 |
| 延性-脆性 遷移温度 | | -60°C | | | |
| Upper-Shelf エネルギー概略値 | | 9.5kgf-m/cm ² | | | |
| Lower-Shelf エネルギー概略値 | | 3.5kgf-m/cm ² | | | |

試験片形状：2.5^t×10^w×55-2Vノッチ



| Temper Norma | As Norma | 650°C ×1h | 700°C ×1h | 725°C ×1h | 750°C ×1h | 800°C ×1h |
|-----------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1050°C×1h | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 1100°C×1h | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 1200°C×1h | ○ | - | - | - | ○ | - |
| 1300°C×1h | ○ | - | - | - | ○ | - |

図1. 供試材製造履歴

| 鋼種 | 耐力 | 引張強さ | B量 (%) |
|----|----|------|--------|
| A | ○ | ● | 0 |
| B | ◇ | ◆ | 0.003 |

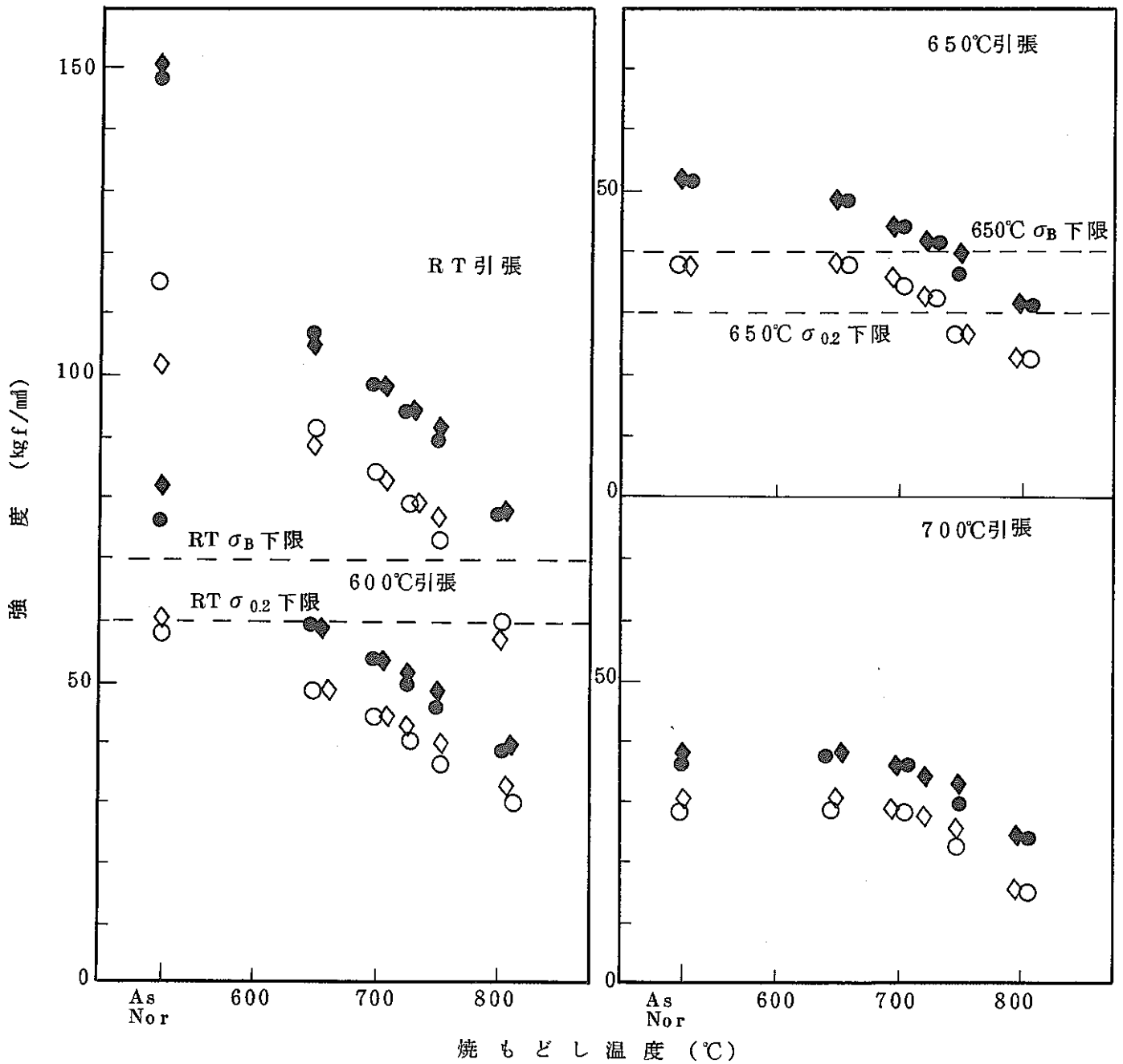
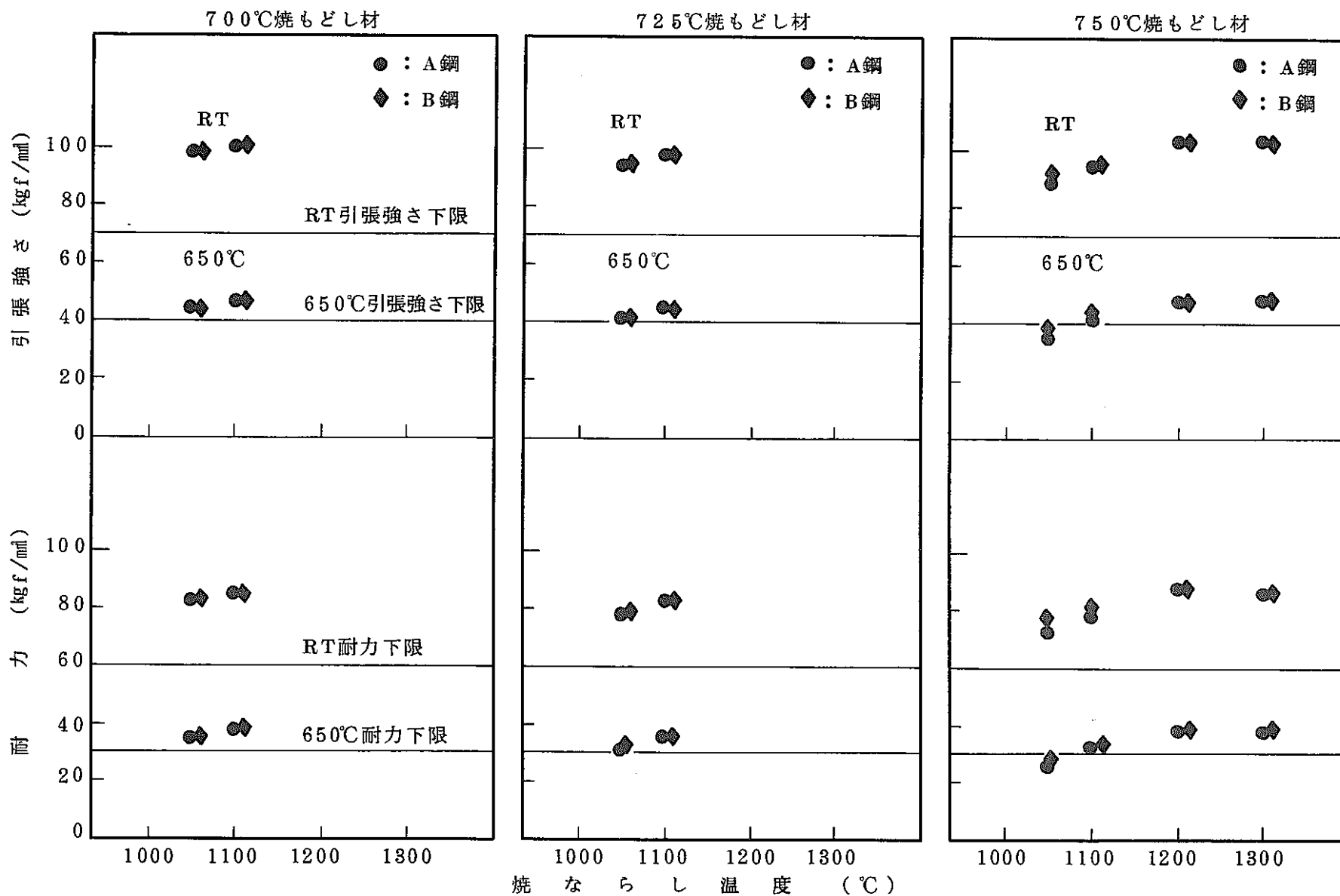


図2. 高温引張強度に及ぼす焼もどし温度の影響
(鋼種間の比較, 1050°C焼ならし材)



1050°C N...工業炉の max. スケール
 700°C N... 650°Cの σ_B , $\sigma_{0.2}$ 下限

図3. 引張強度に及ぼす熱処理条件の影響

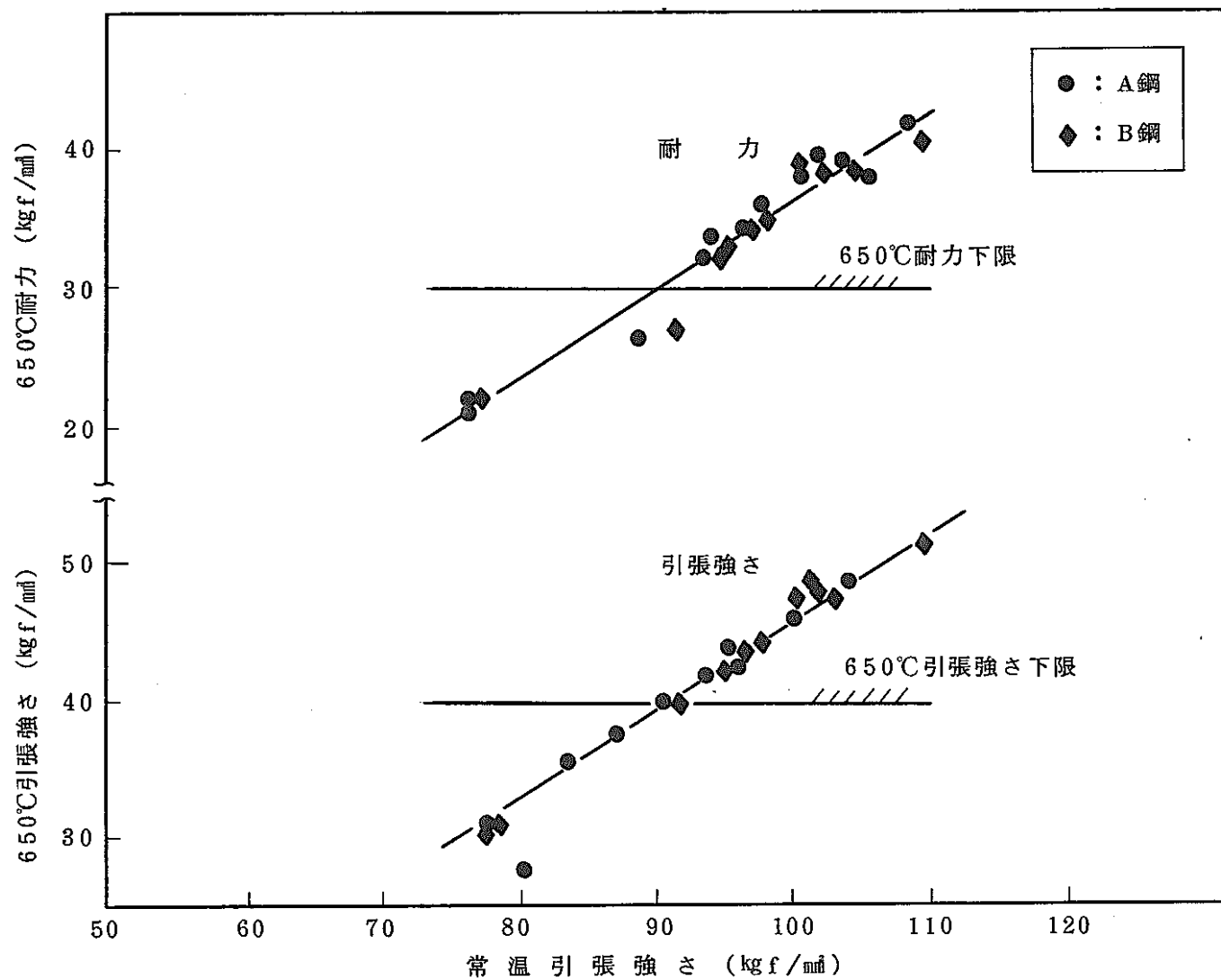


図4. 常温引張強さと650°C耐力, 引張強さとの関係

| 鋼種 | 熱処理条件 | 耐力 | 引張強さ |
|----|------------|----|------|
| A | Nor+Temp. | ○ | ● |
| | 700°C×200h | △ | ▲ |

1050°C焼ならし材

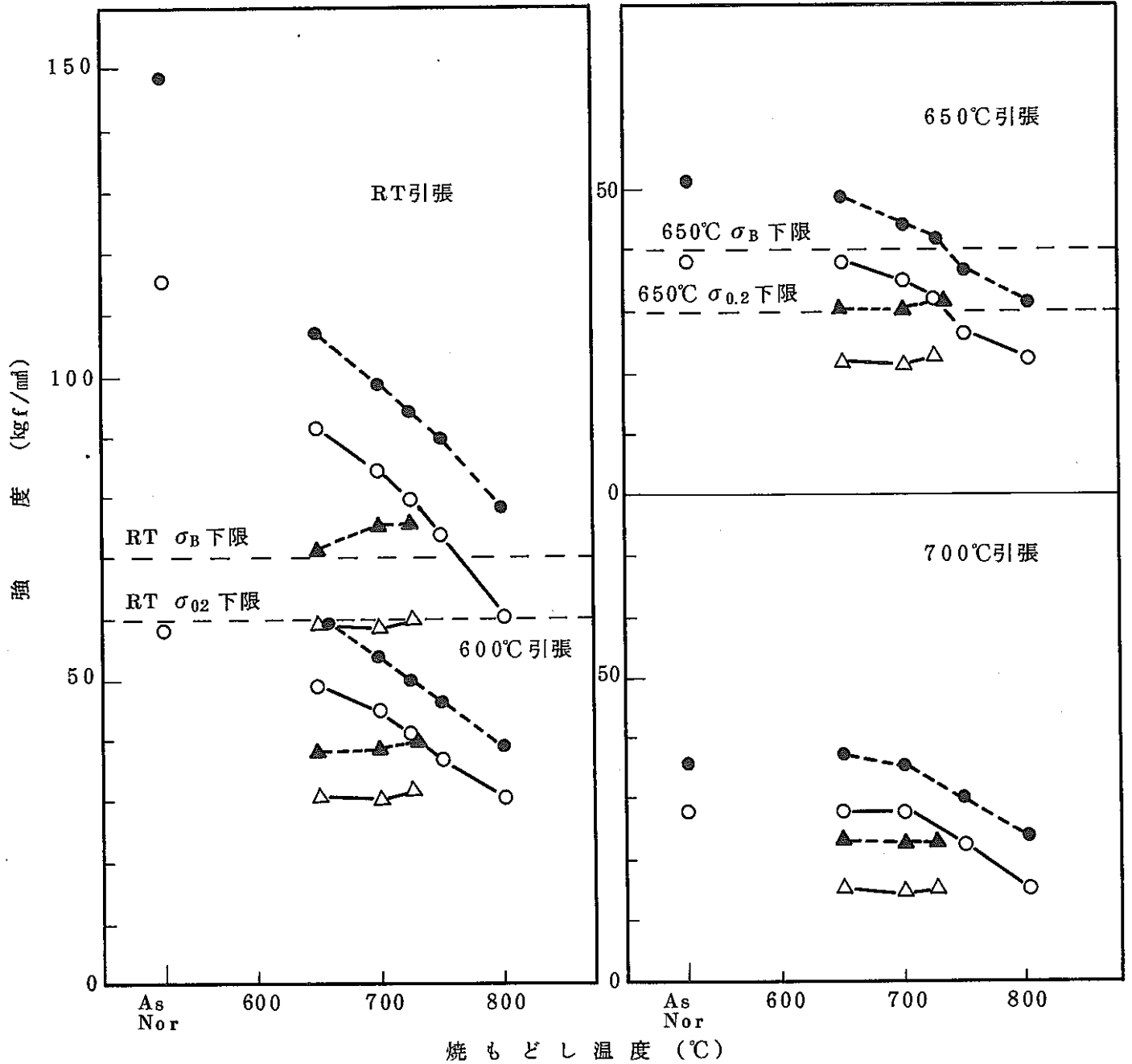


図5. 長時間加熱後の高温引張強度に及ぼす焼もどし温度の影響

| 鋼種 | 熱処理条件 | 耐力 | 引張強さ |
|----|------------|----|------|
| A | Nor+Temp. | ○ | ● |
| | 700°C×200h | △ | ▲ |

1100°C焼ならし材

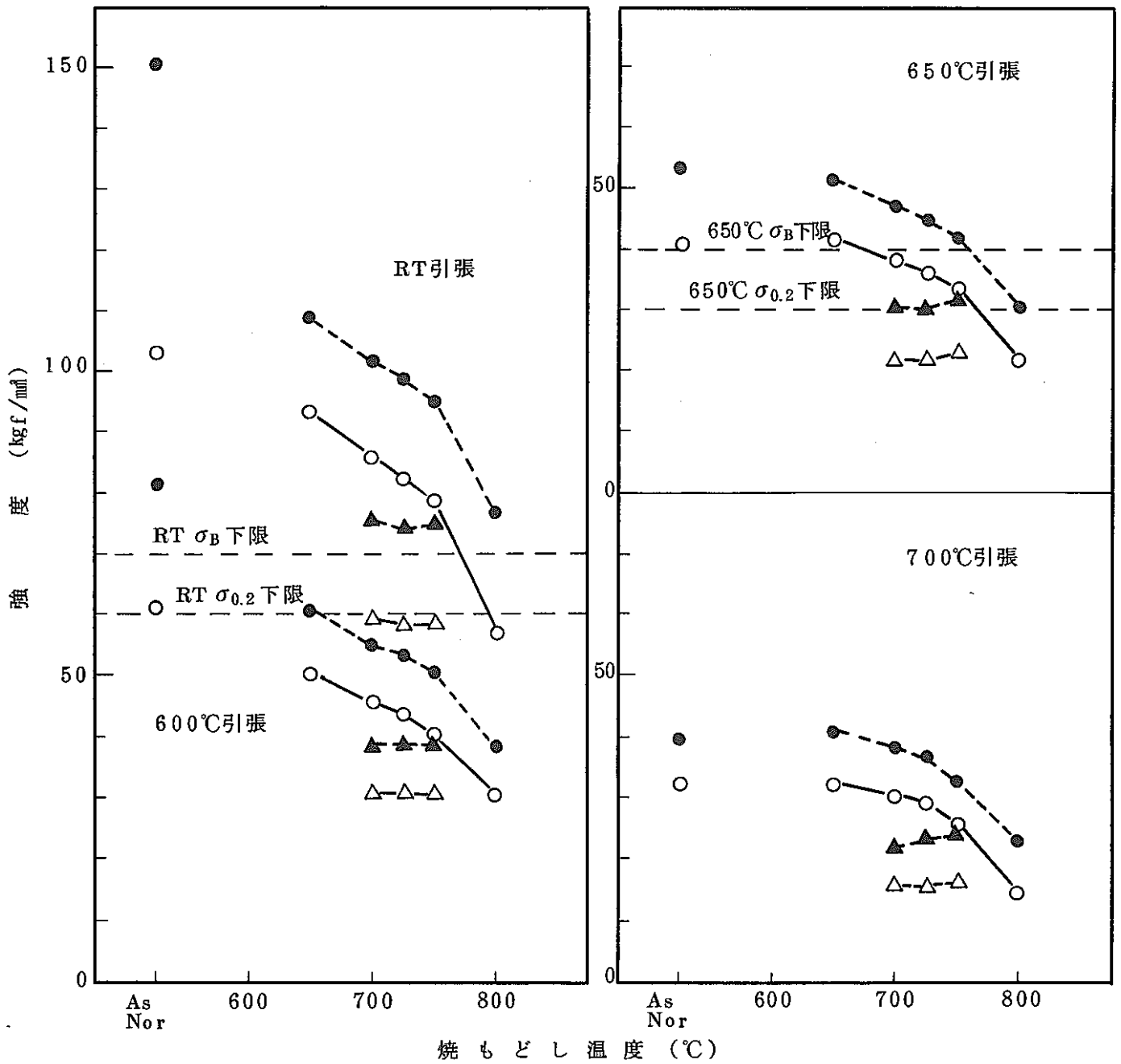


図6. 長時間加熱後の高温引張強度に及ぼす焼もどし温度の影響

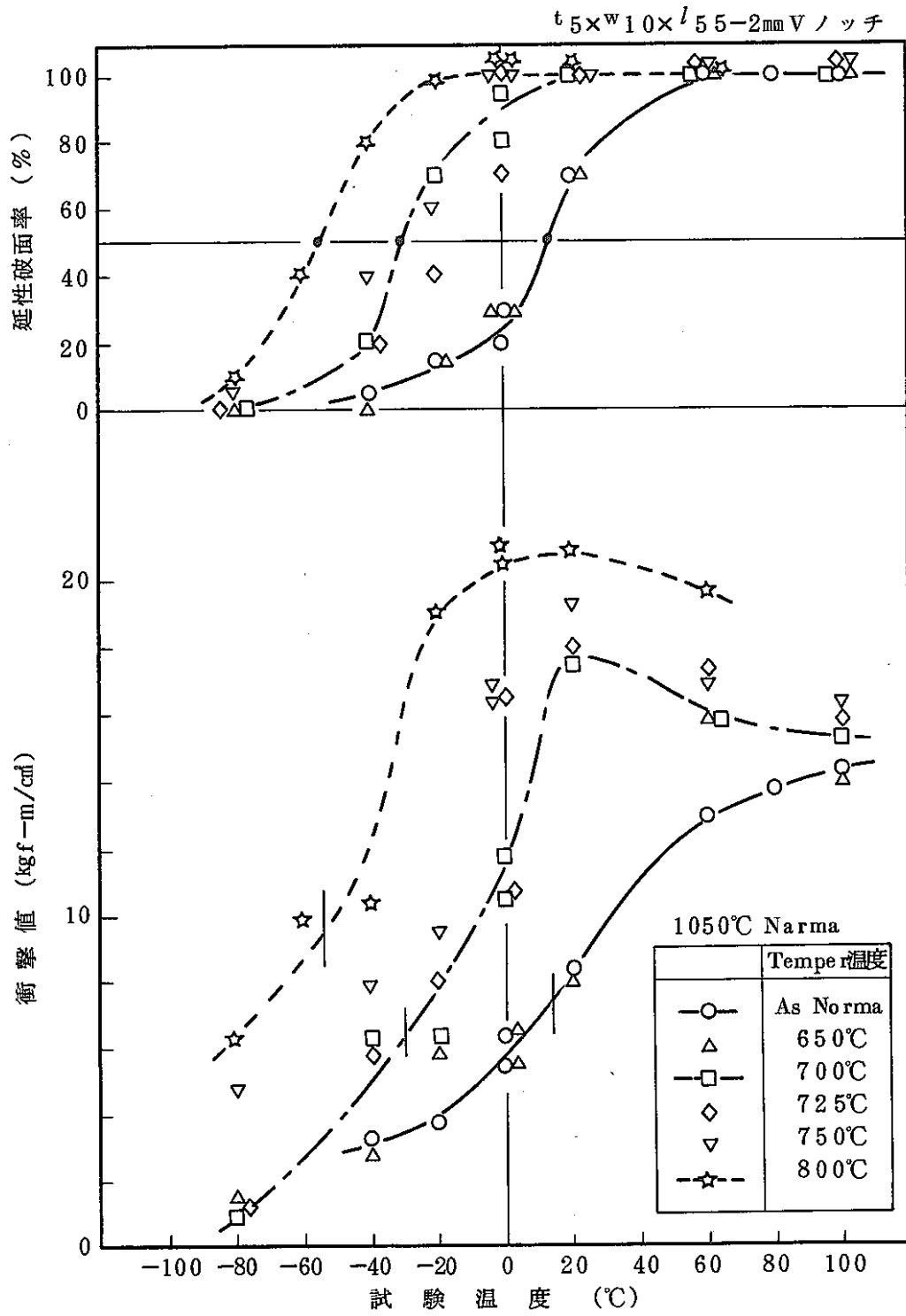


図7. シャルピー衝撃試験結果 (A鋼)

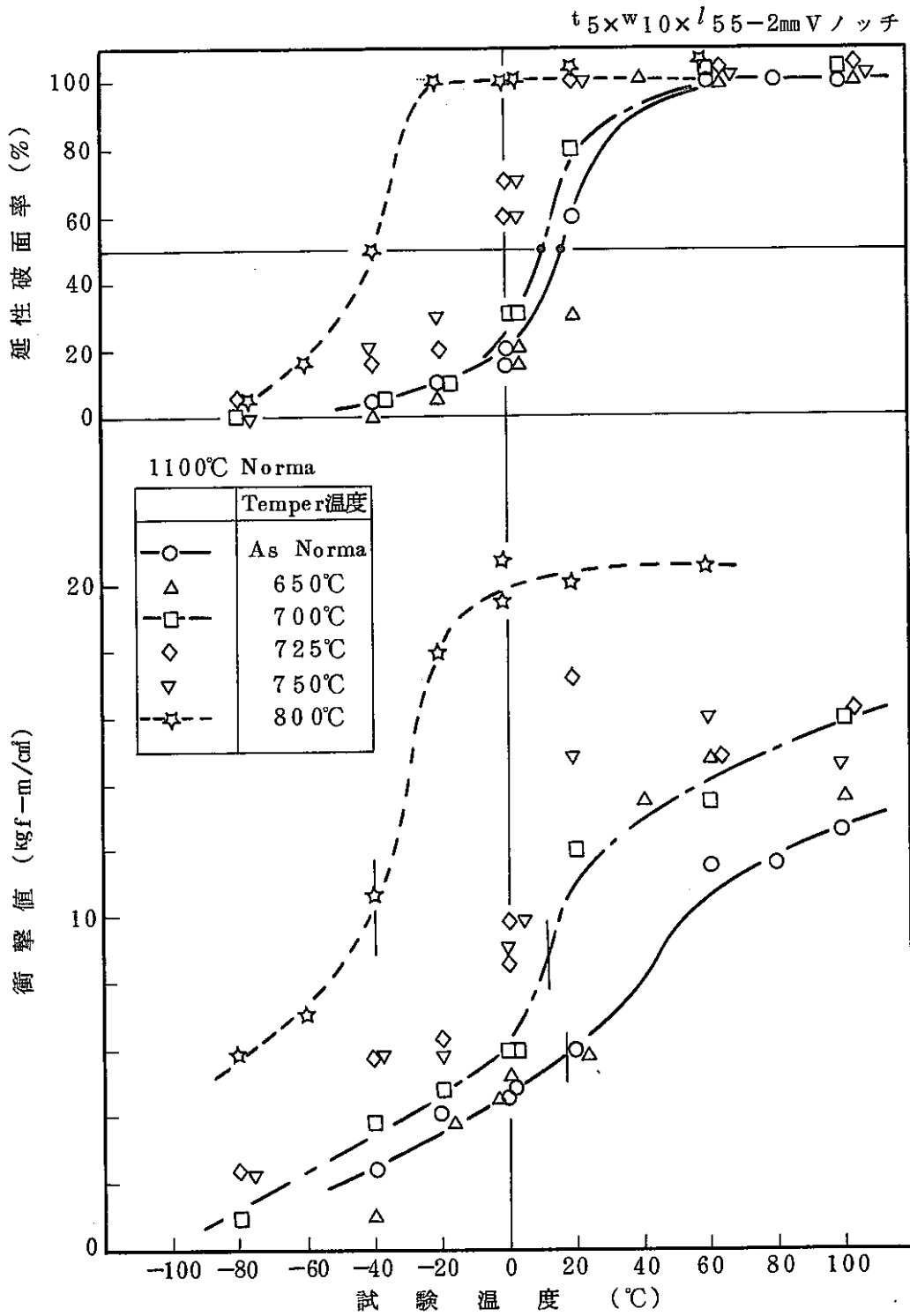


図8. シャルピー衝撃試験結果 (A鋼)

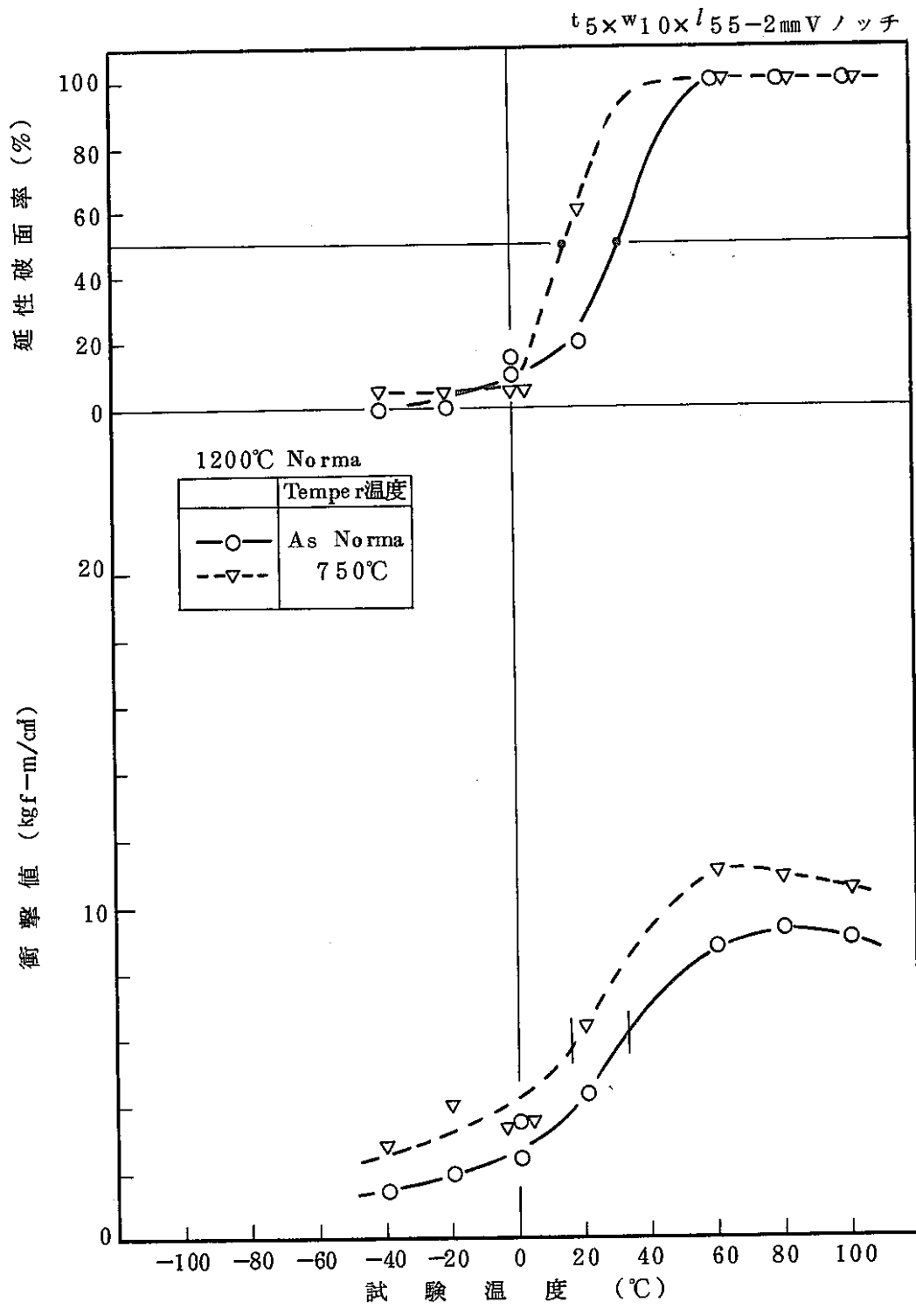


図9. シャルピー衝撃試験結果 (A鋼)

t5×w10×l55-2mmVノッチ

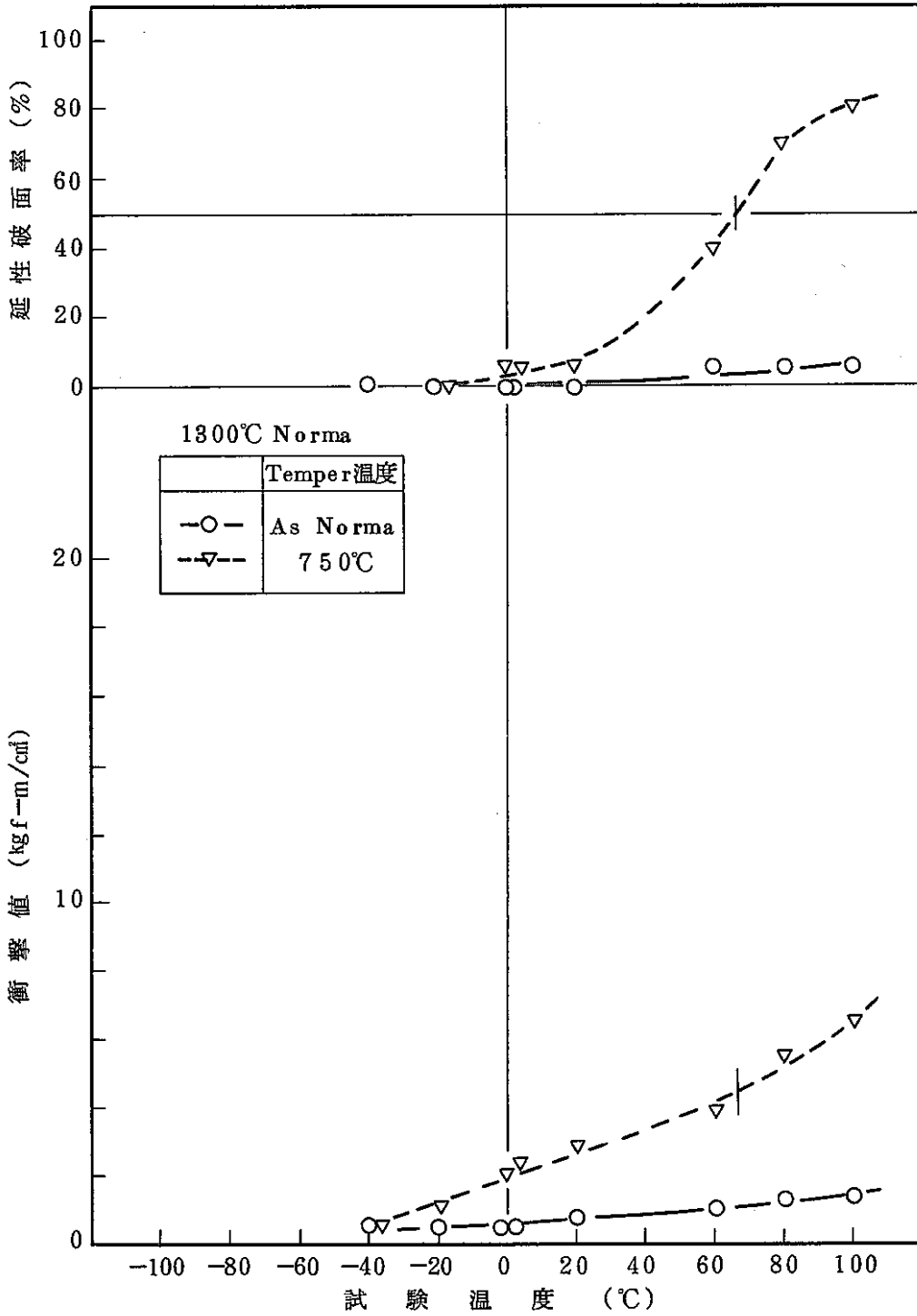


図10. シャルピー衝撃試験結果 (A鋼)

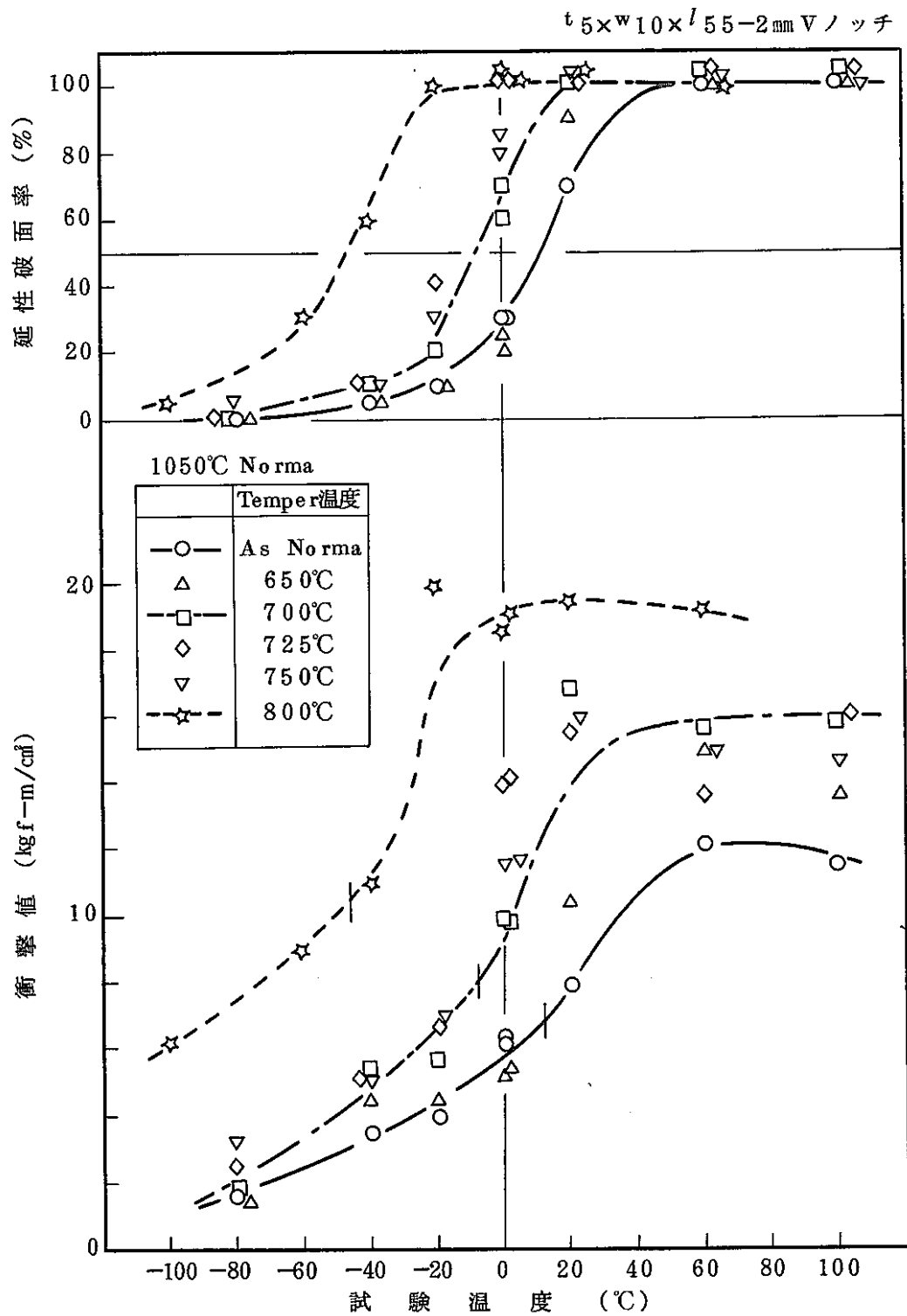


図11. シャルピー衝撃試験結果 (B鋼)

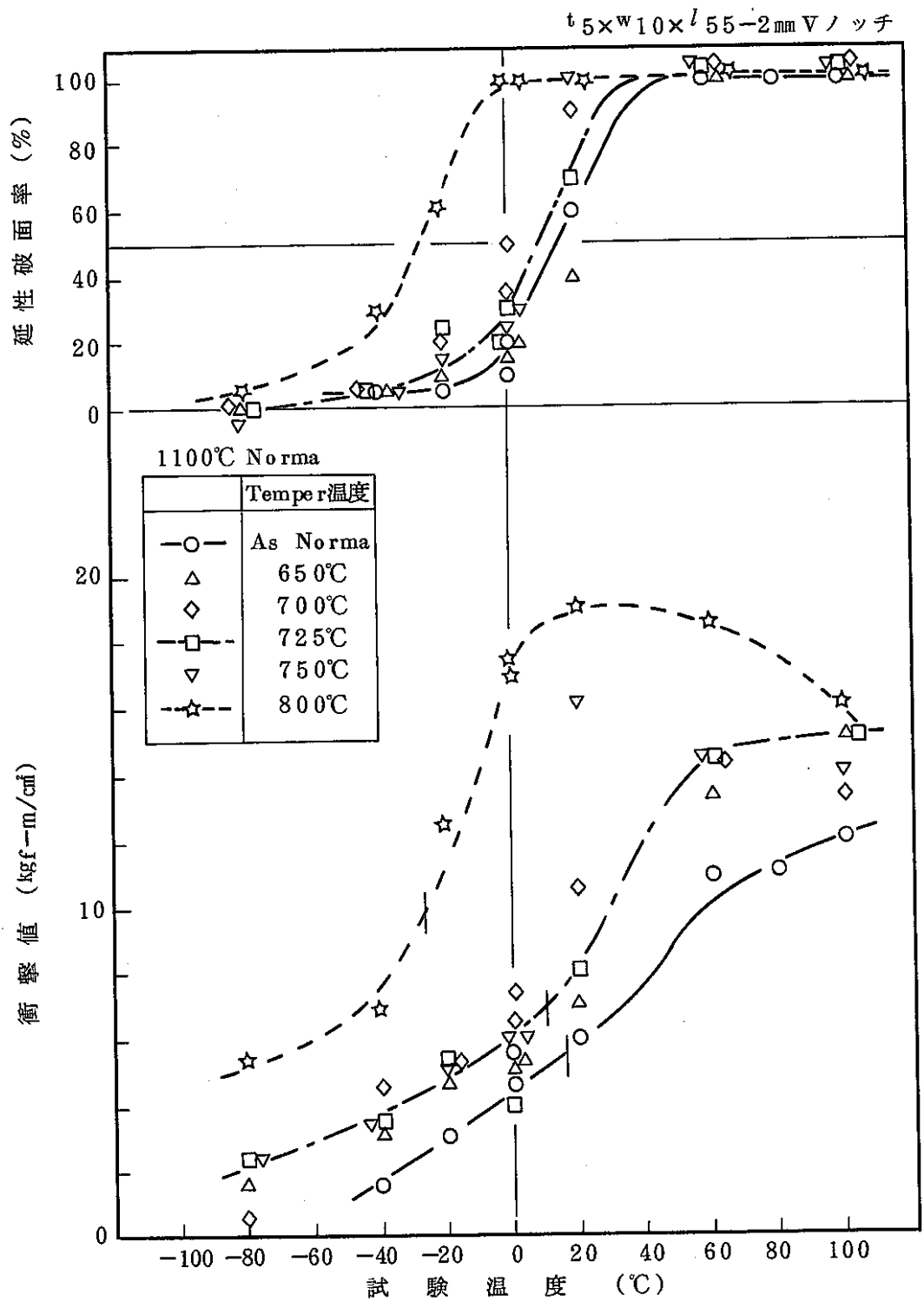


図12. シャルピー衝撃試験結果 (B鋼)

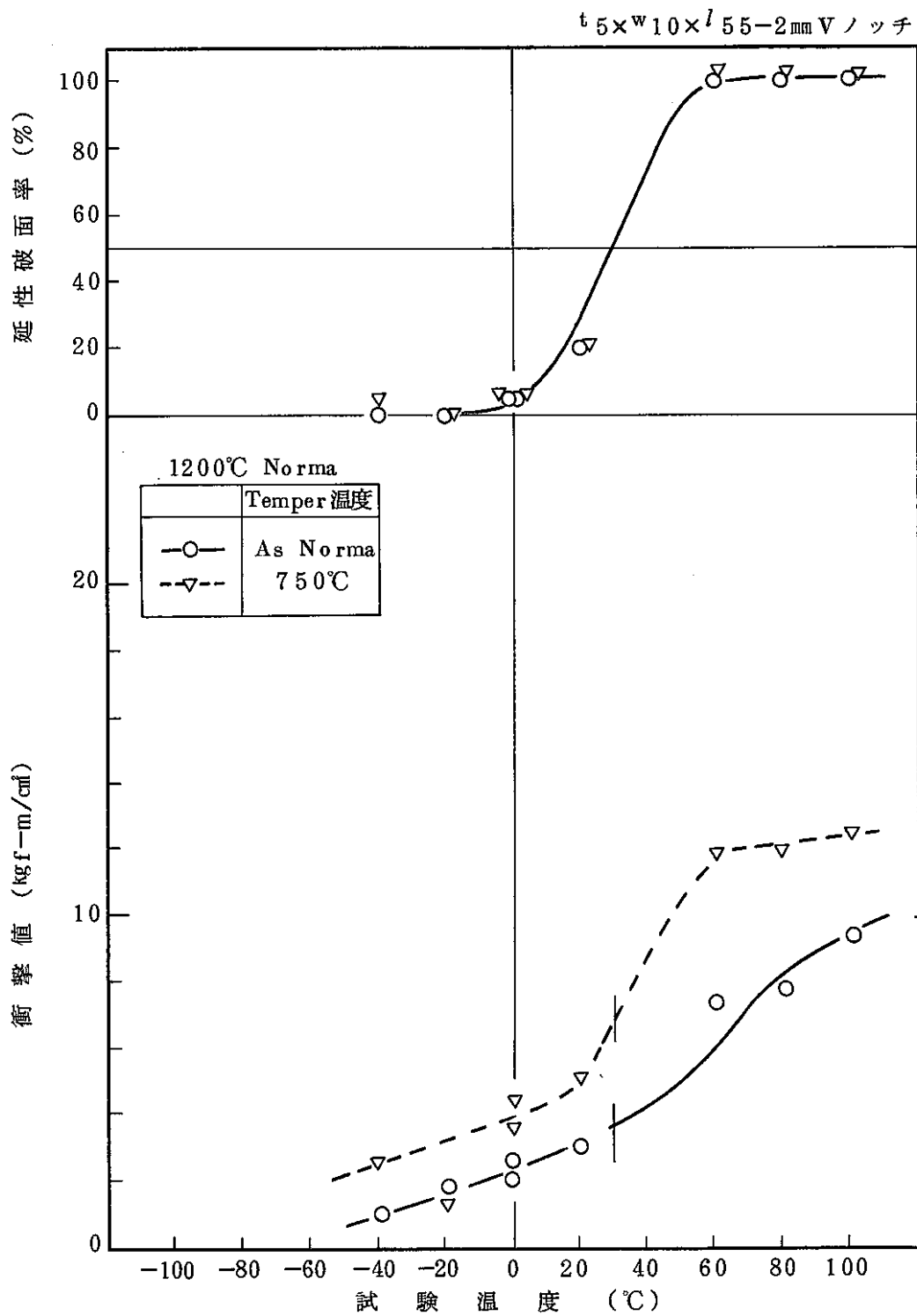


図13. シャルピー衝撃試験結果 (B鋼)

$t 5 \times w 10 \times l 50 - 2 \text{mm V}$ ノッチ

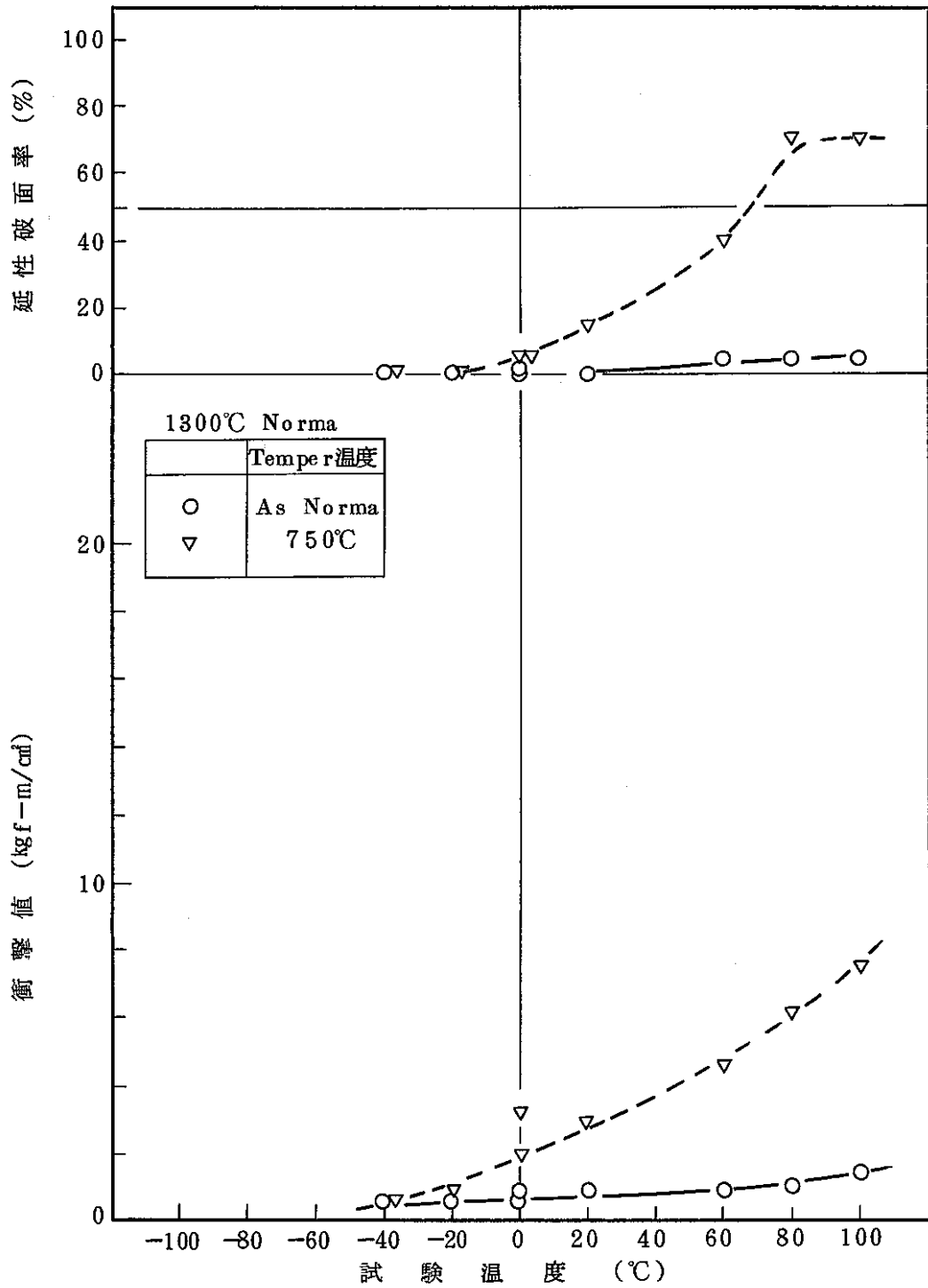


図14. シャルピー衝撃試験結果 (B鋼)

TP: $t_5 \times w_{10} \times l_{55} - 2mmVノッチ$

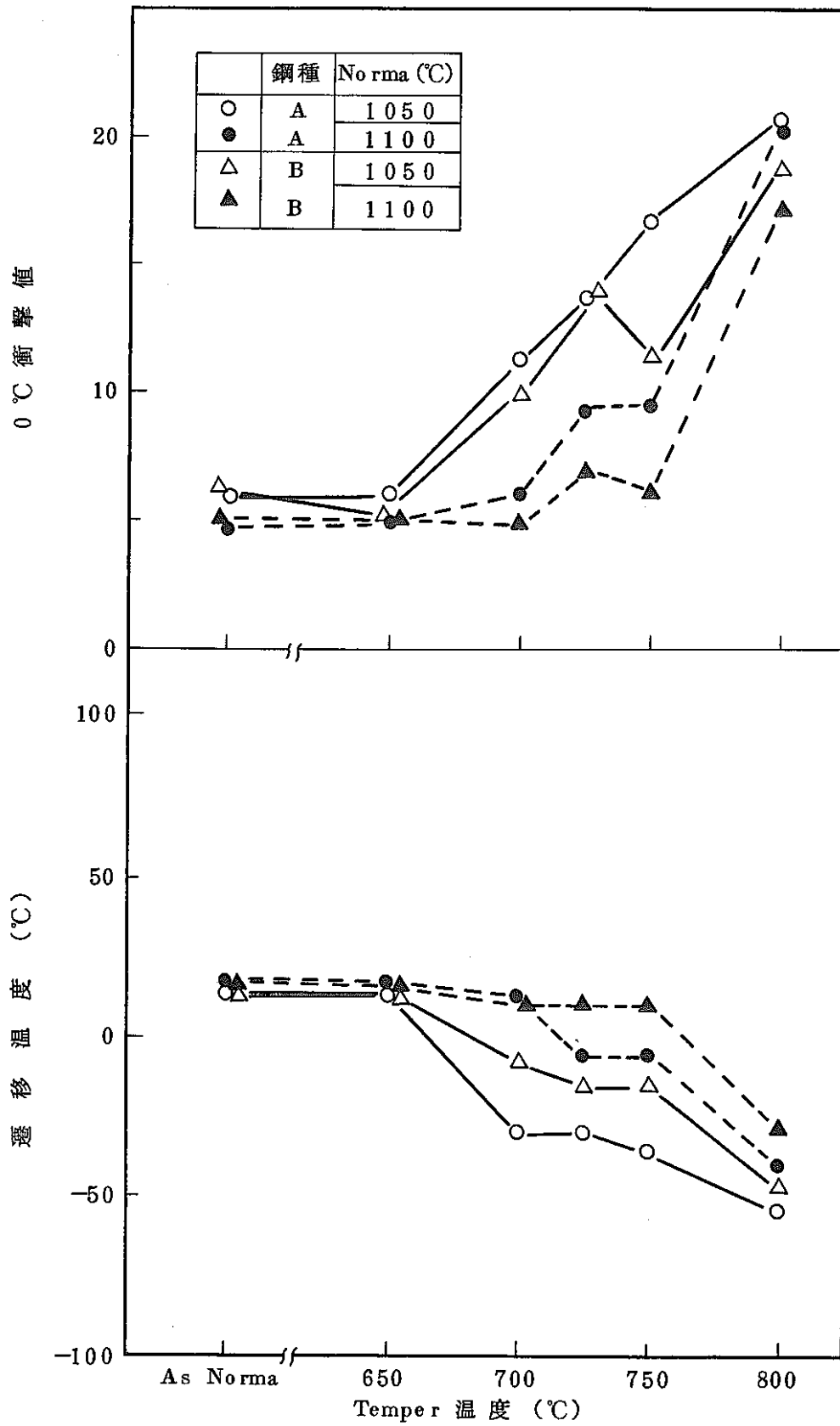


図15. 靱性変化に及ぼす焼もどし温度の影響

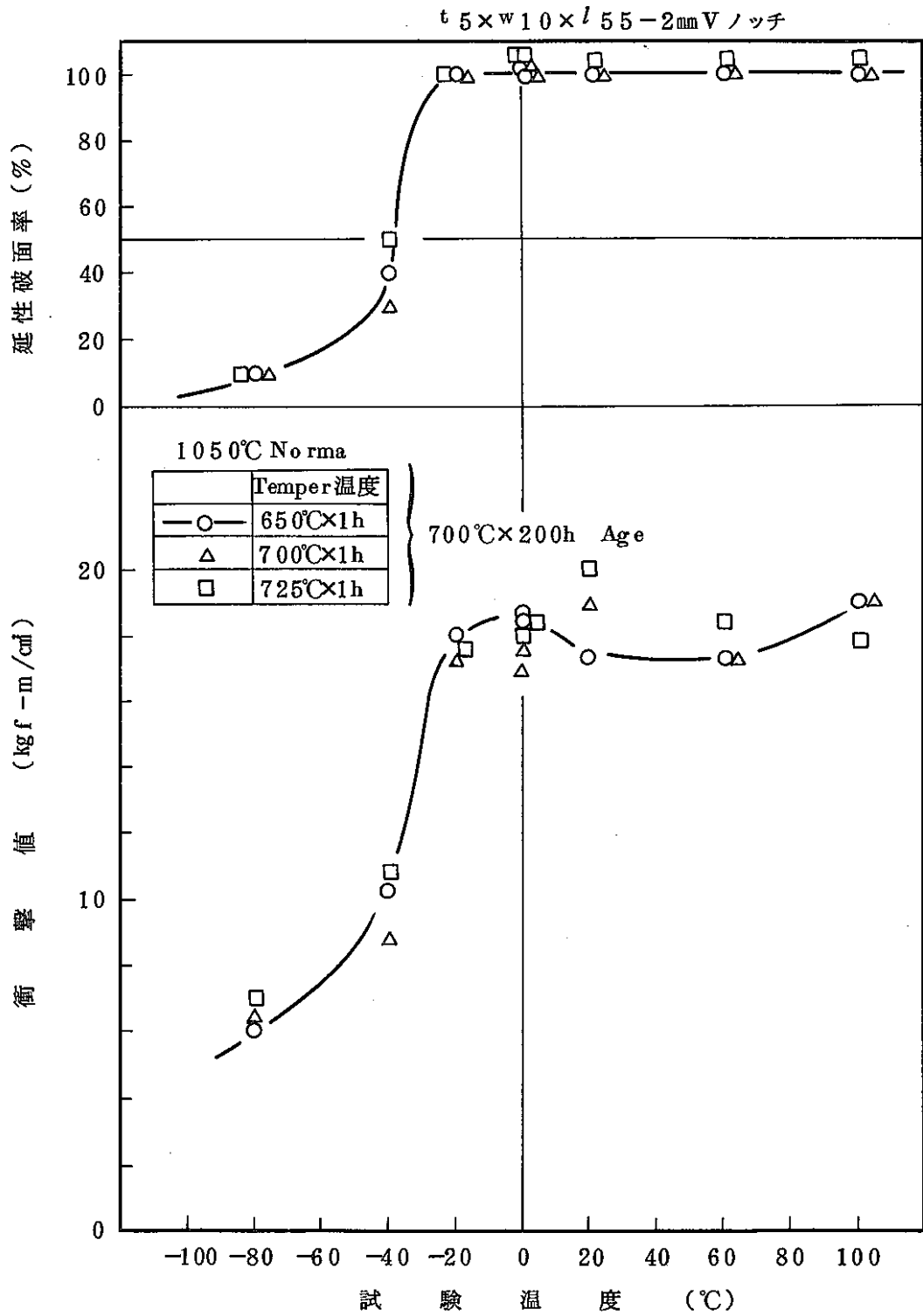


図16. 長時間加熱後のシャルピー衝撃試験結果 (A鋼)

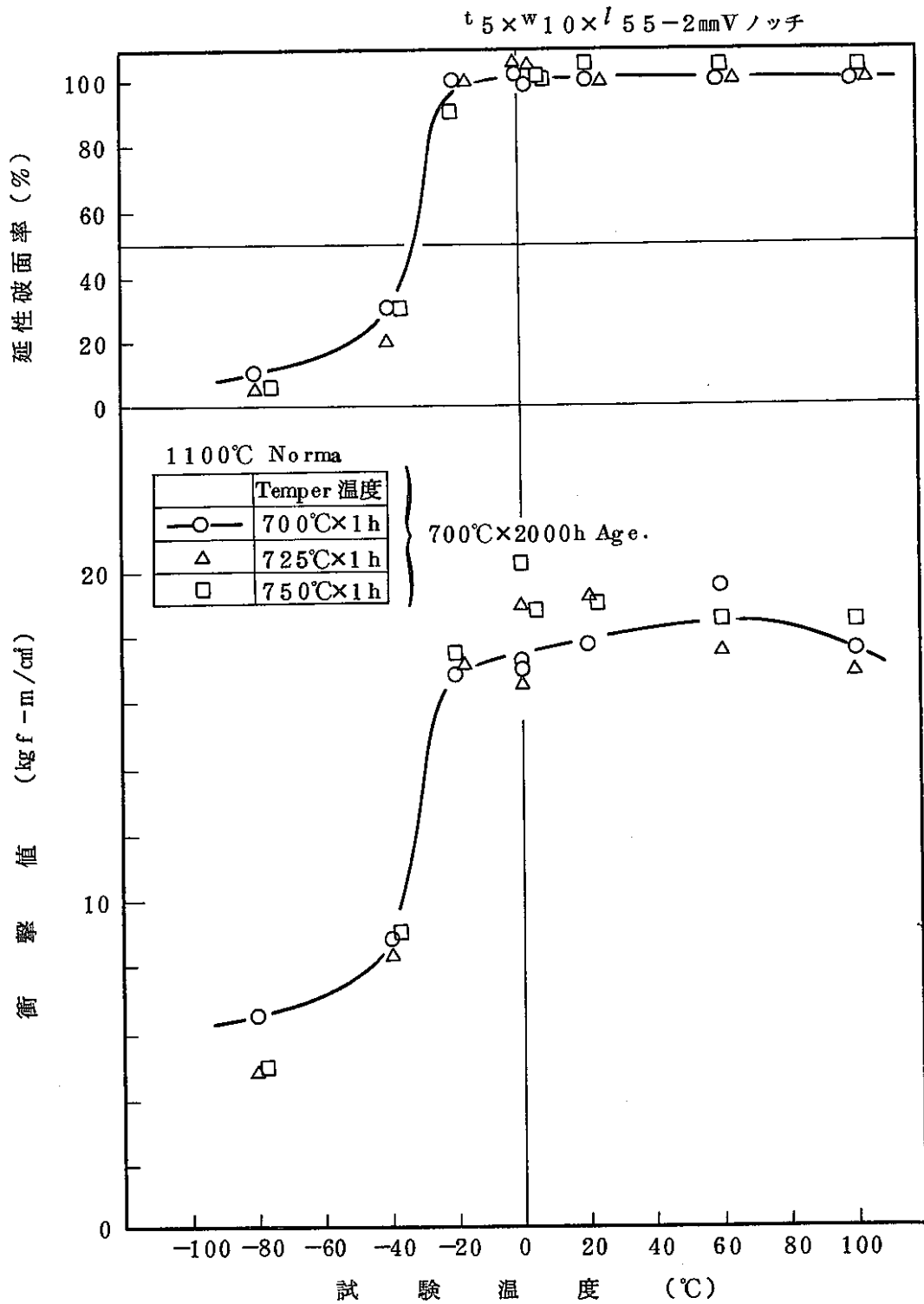


図17. 長時間加熱後のシャルピー衝撃試験結果 (A鋼)

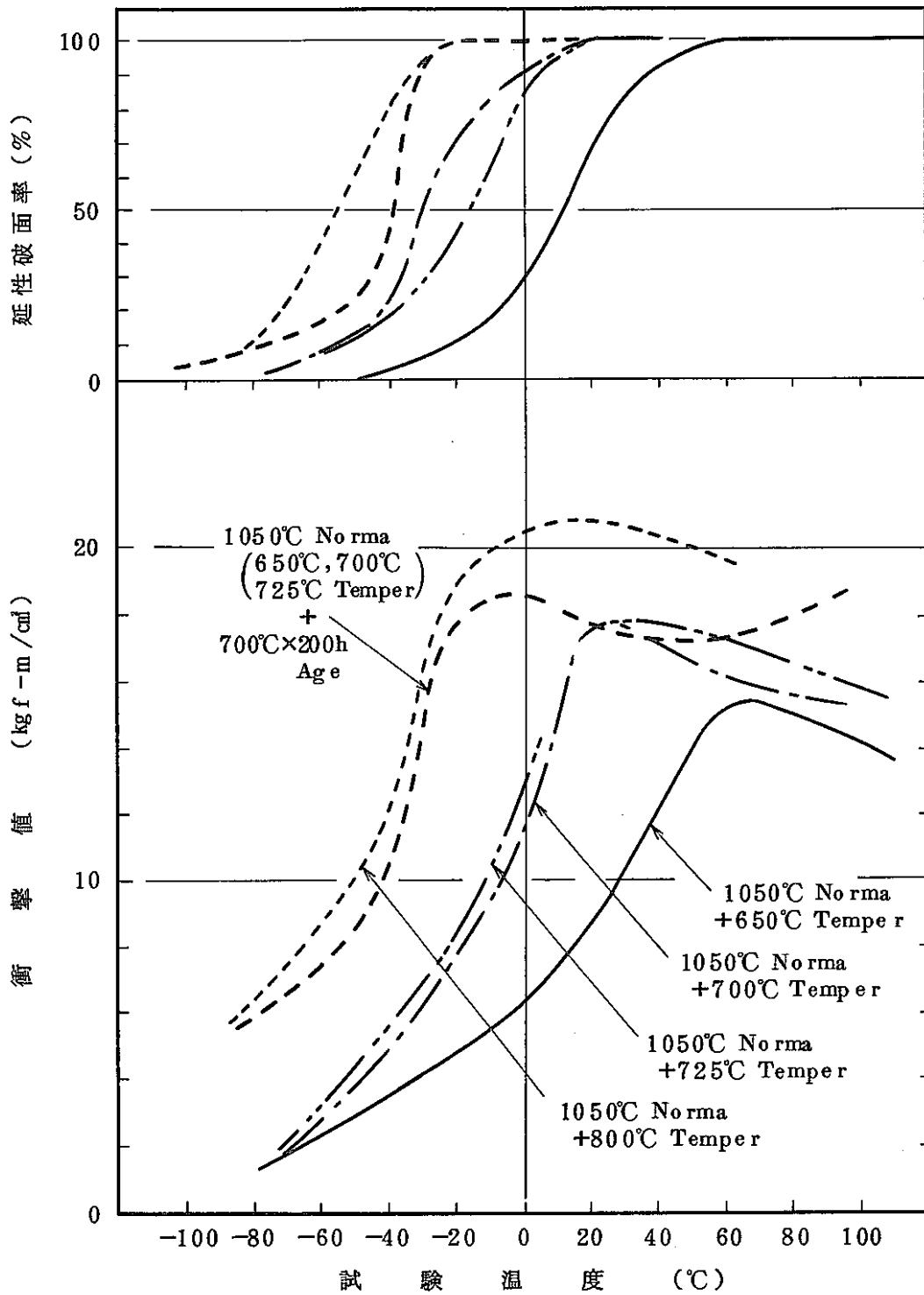


図18. シャルピー衝撃性質に及ぼす長時間加熱の影響 (A鋼)

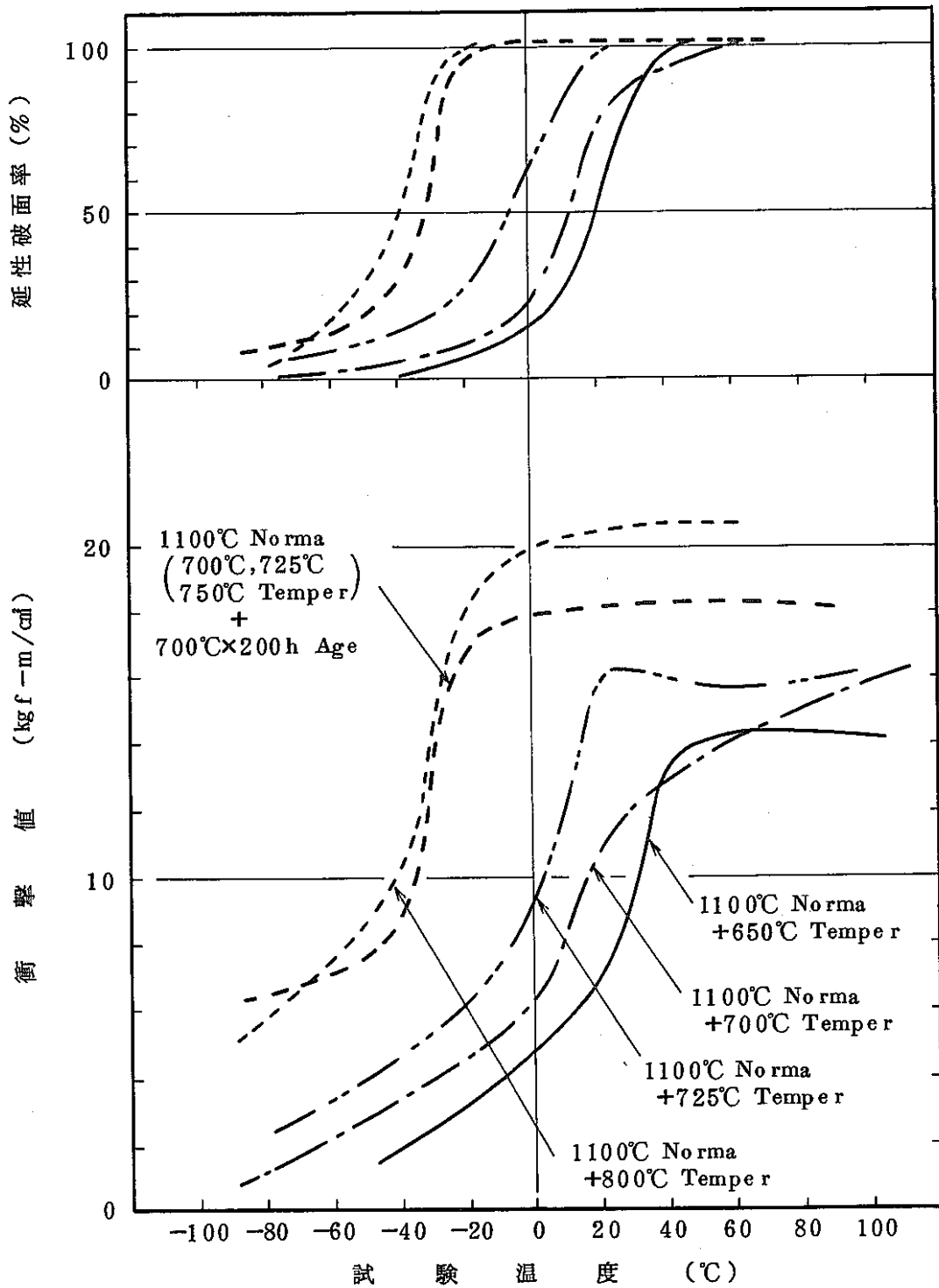


図19. シャルピー衝撃性質に及ぼす長時間加熱の影響 (A鋼)

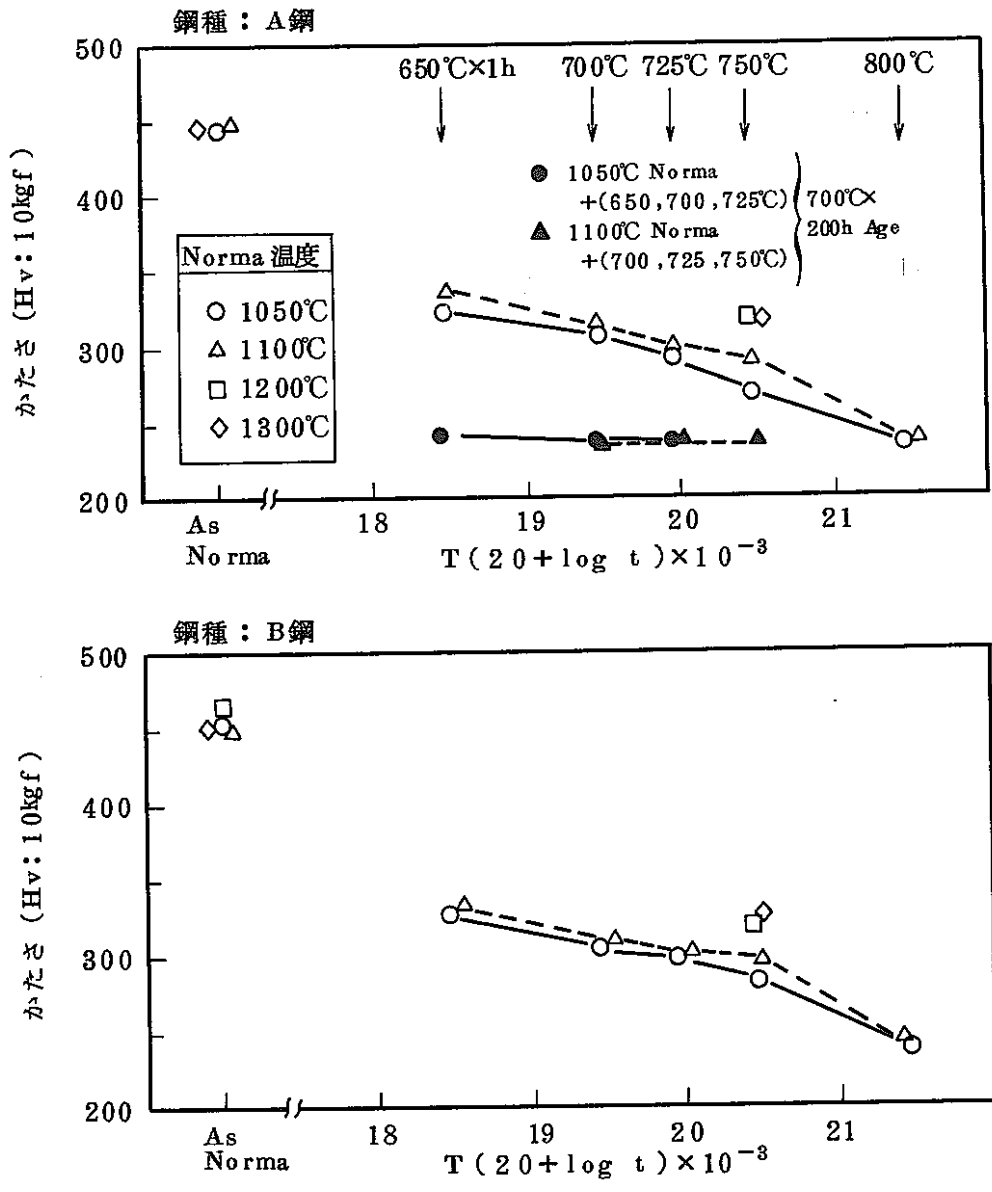


図20. かたさ試験結果

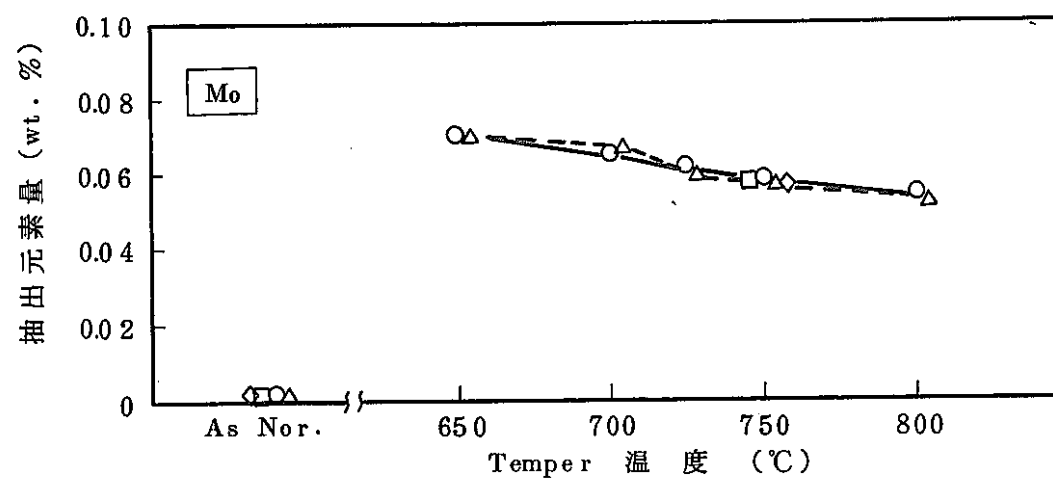
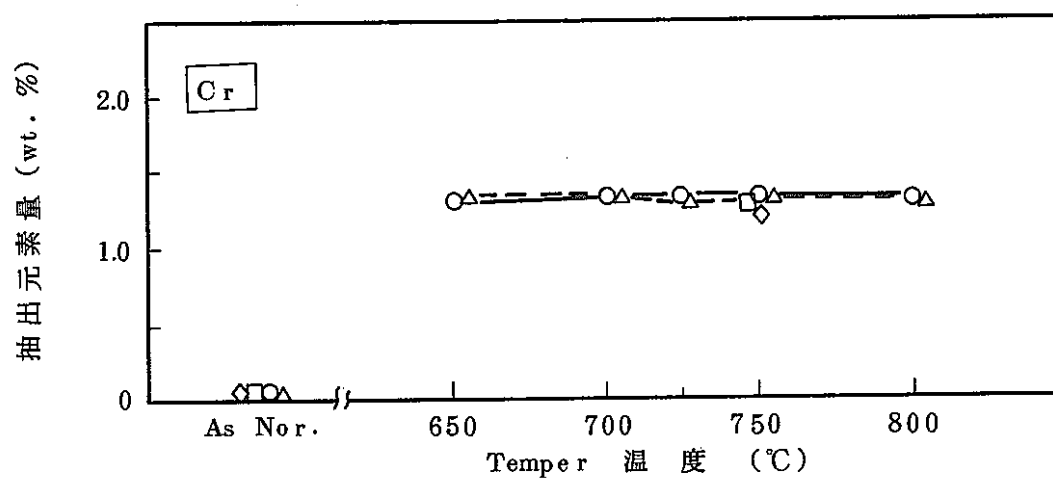
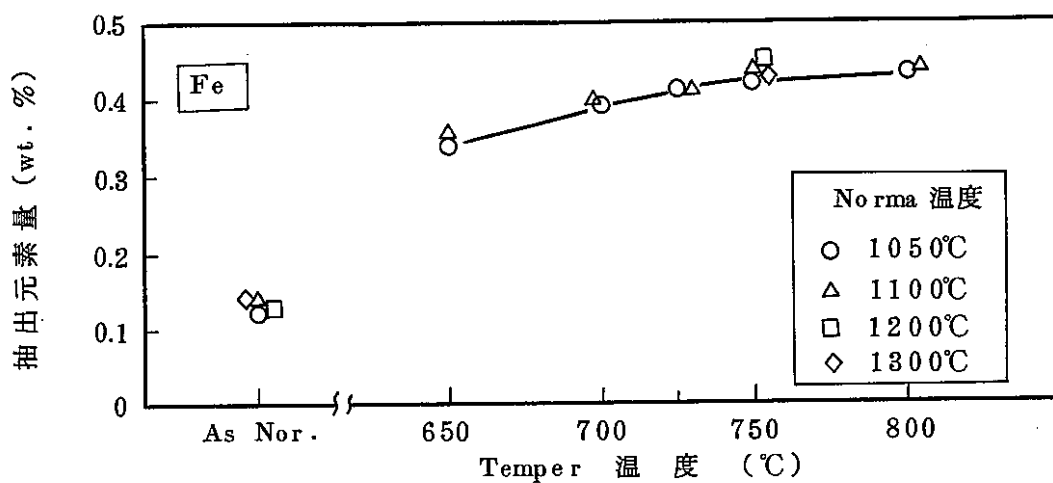


图21. 抽出残渣分析結果 (A鋼)

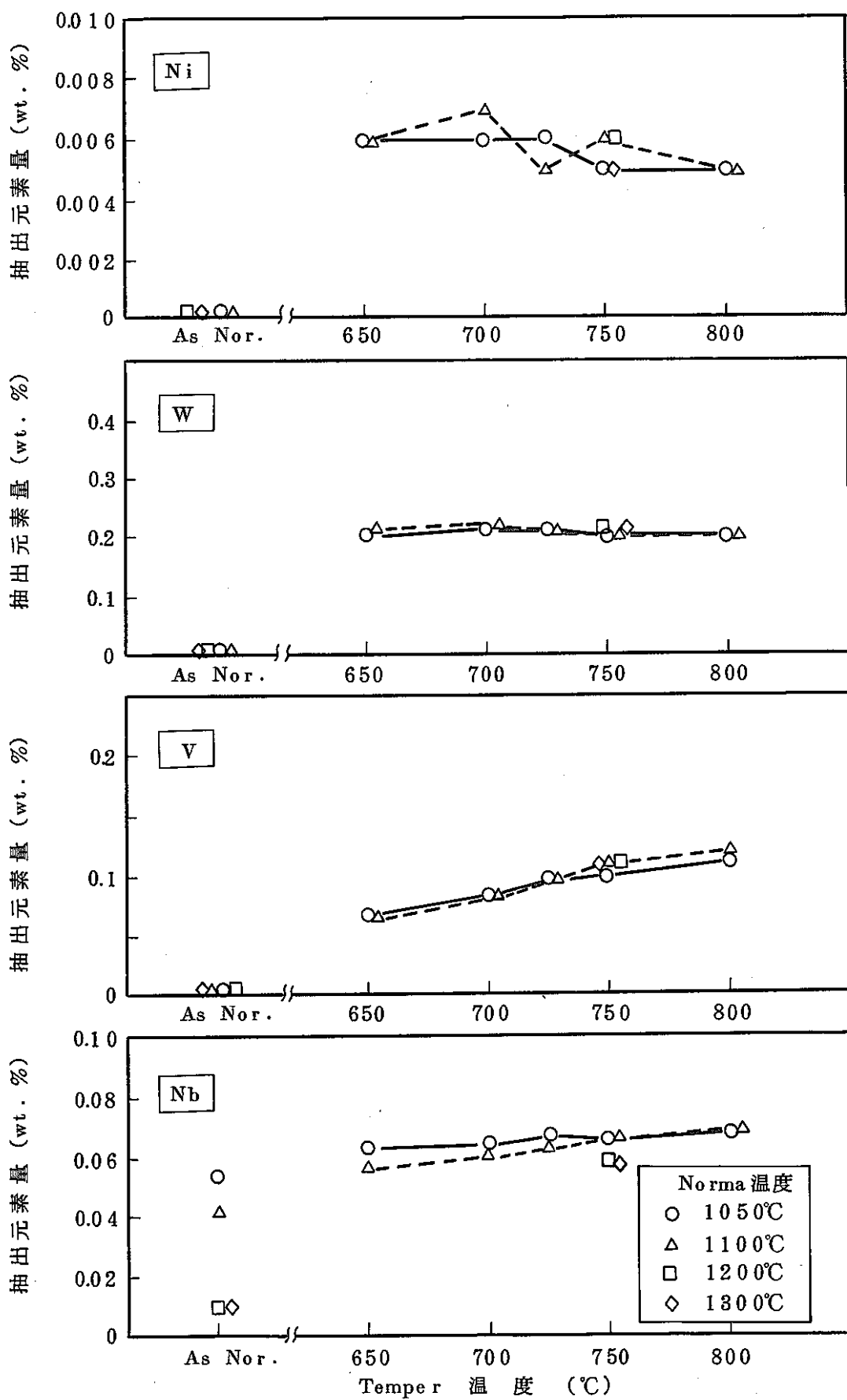


图22. 抽出残渣分析结果 (A钢)

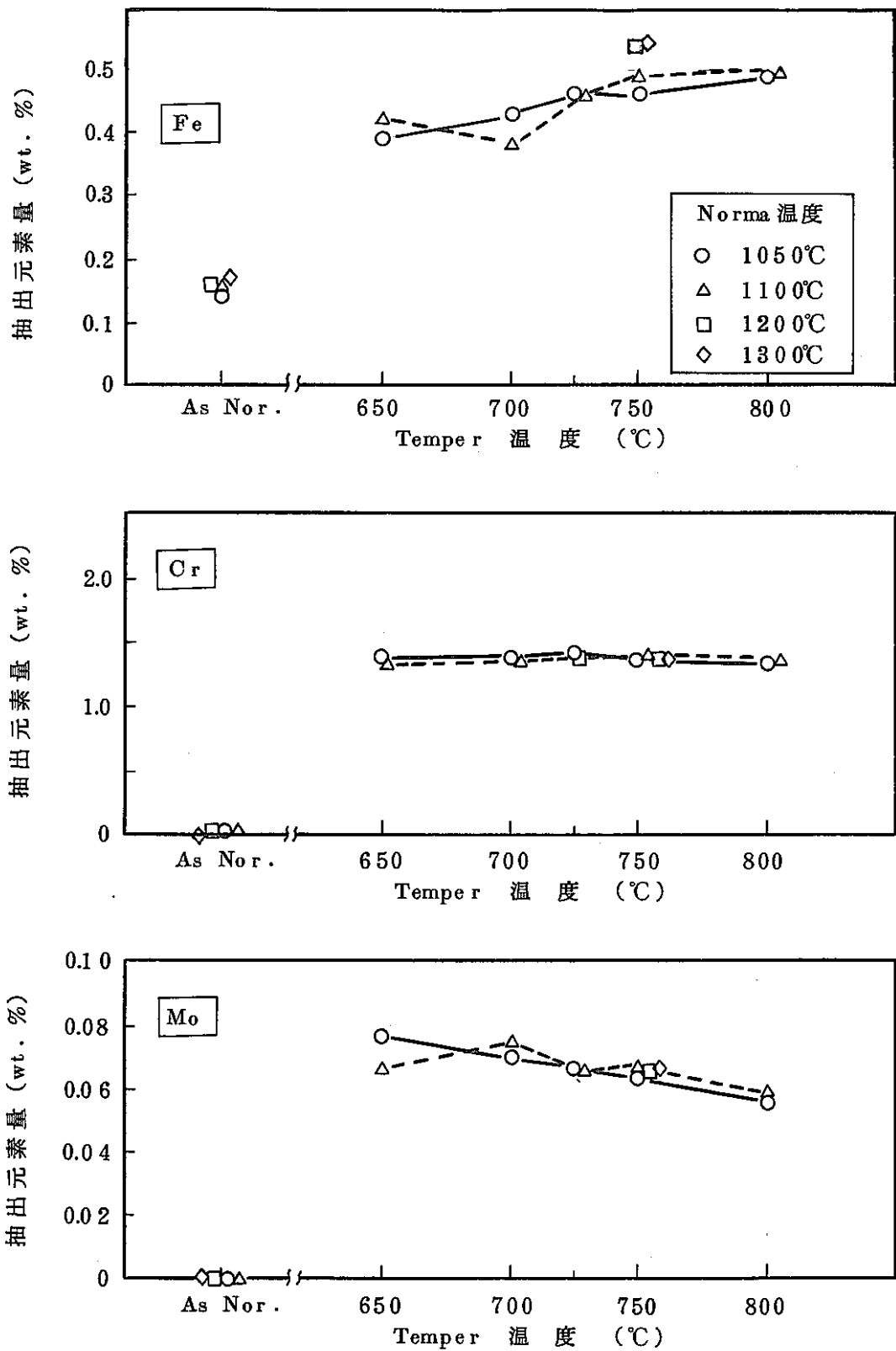


图23. 抽出残渣分析结果 (B鋼)

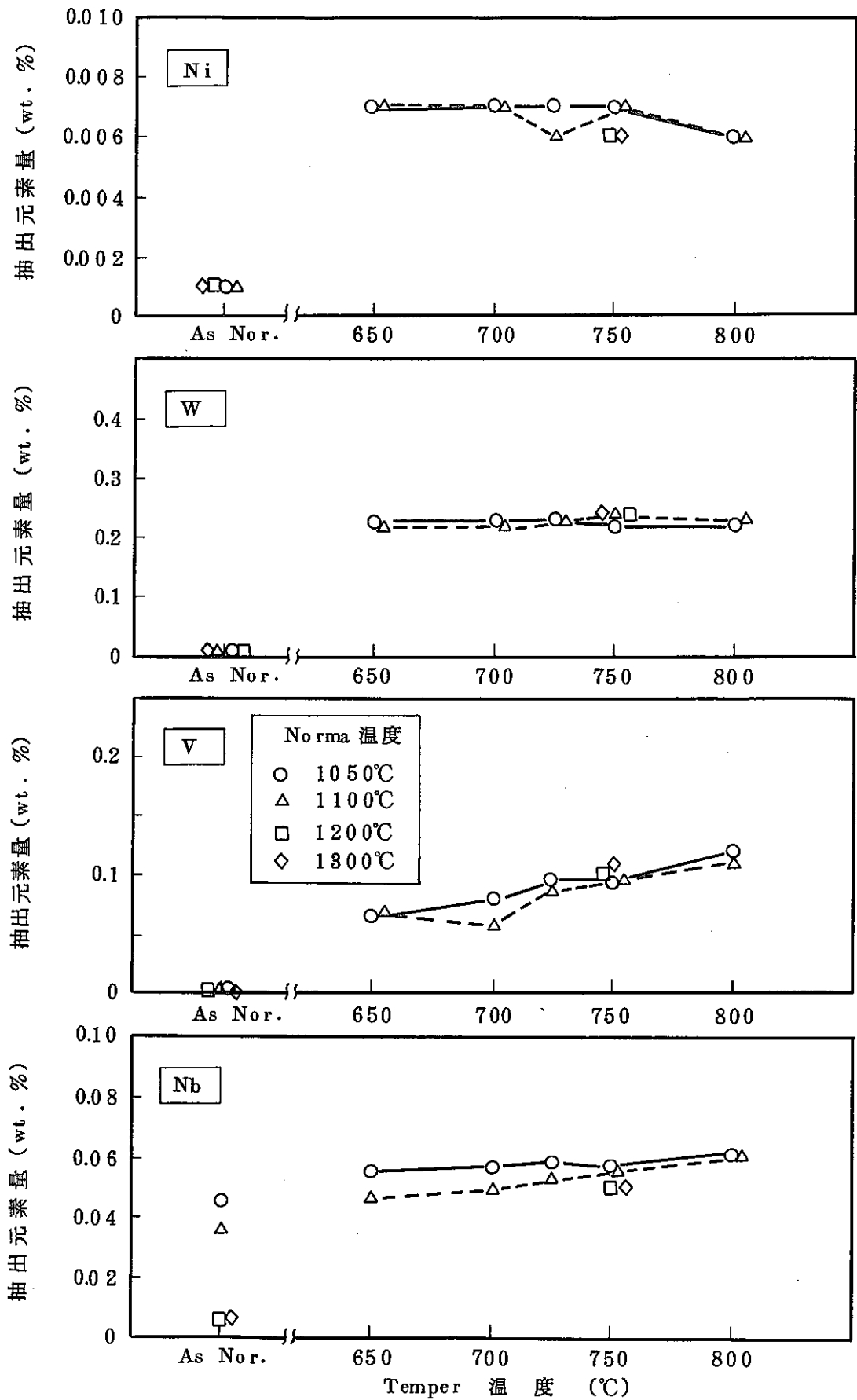
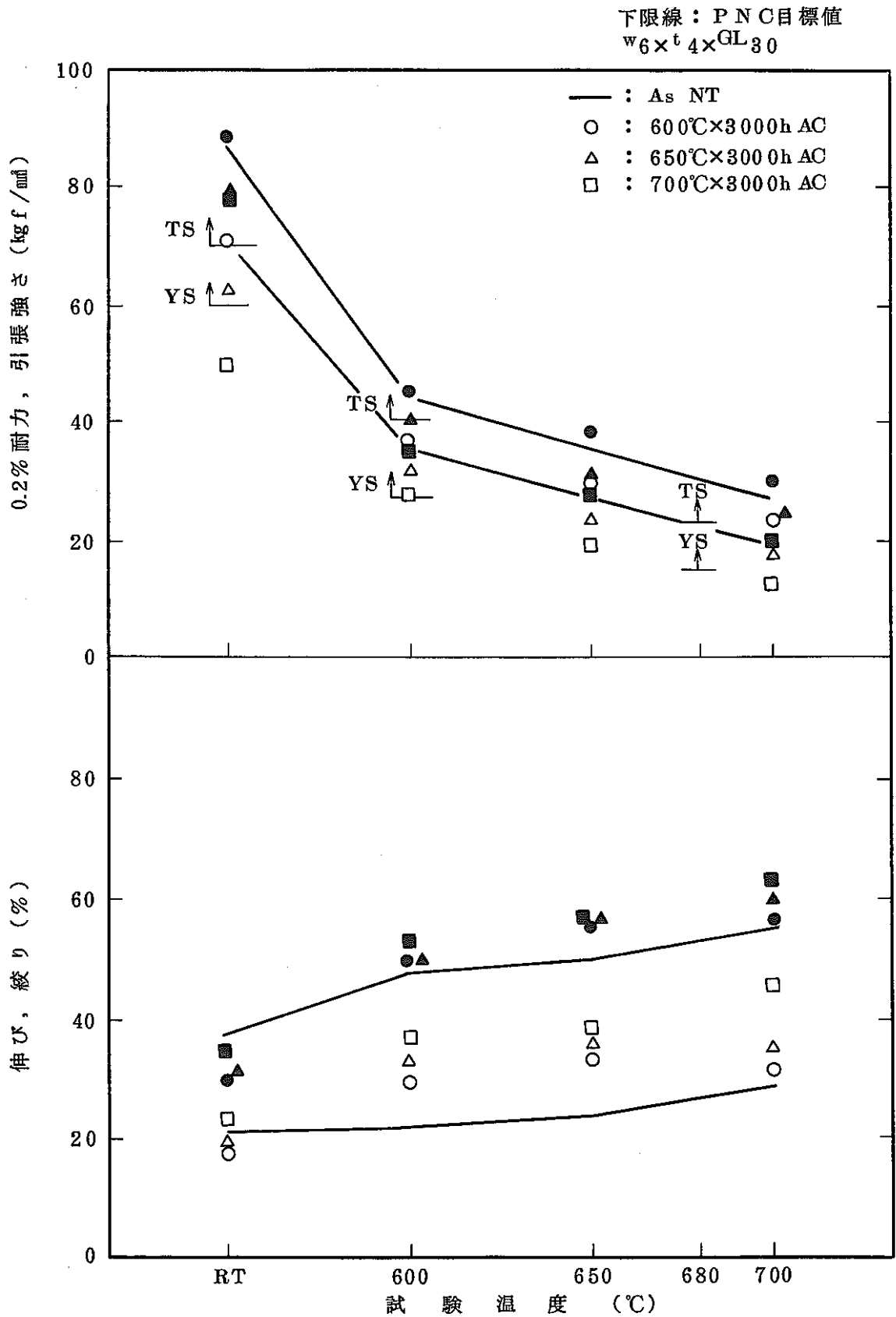


图24. 抽出残渣分析结果 (B鋼)



(NT: 1050°C×1h AC + 750°C×1h AC)

図25. 61F S鋼長時間加熱後の高温引張性質

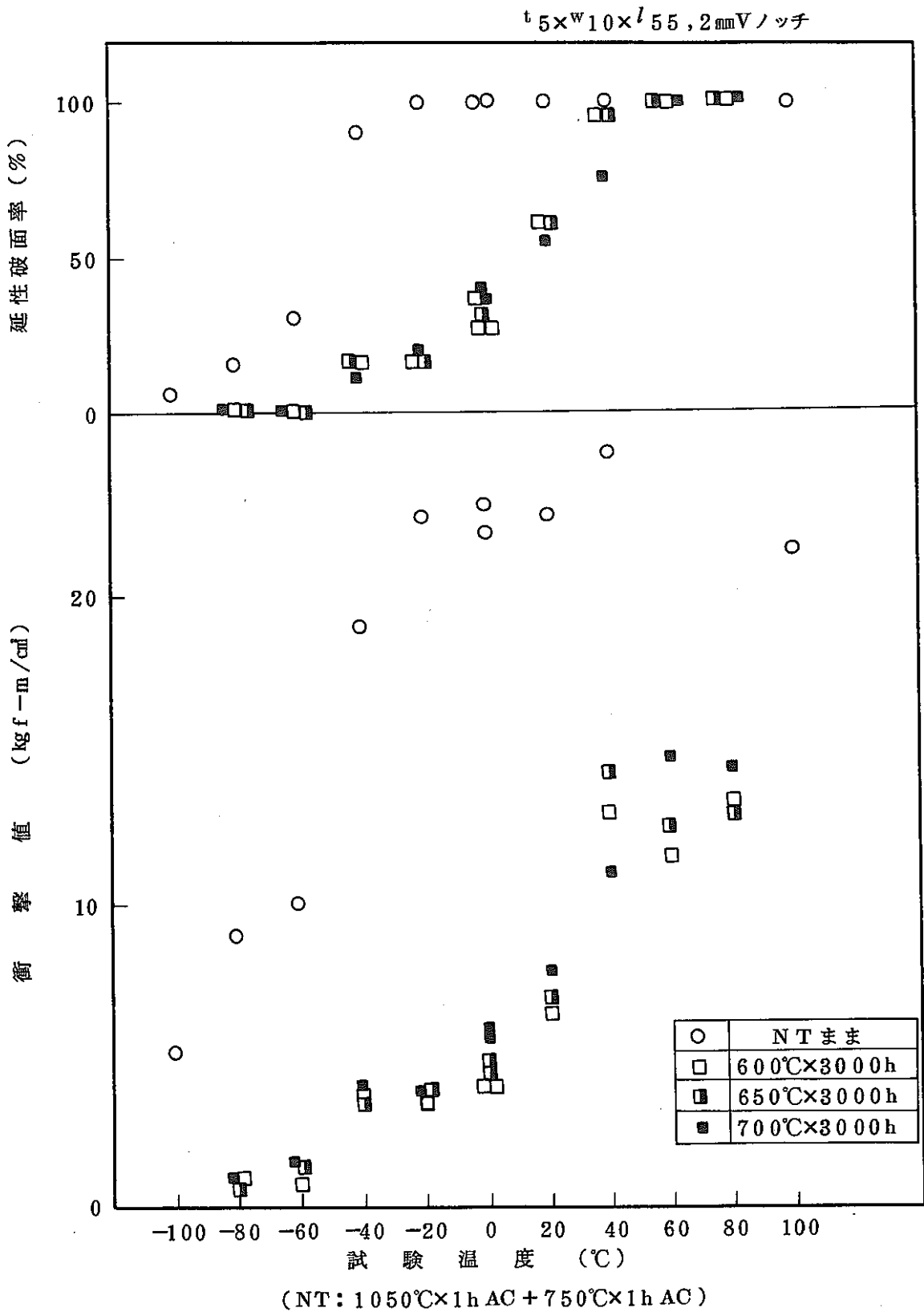


図26. 長時間加熱後のシャルピー衝撃試験結果 (61F S)

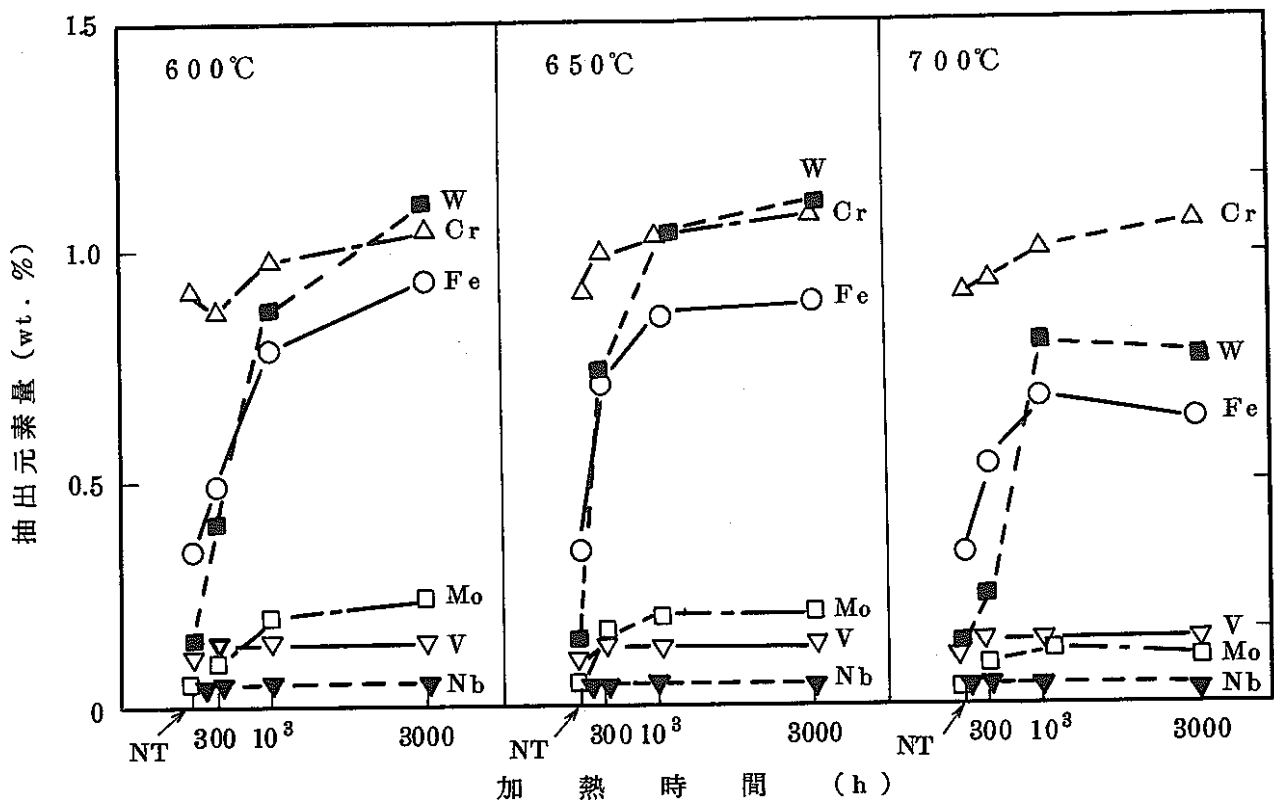


図27. 61F S鋼長時間加熱後の抽出残渣量変化
(NT: 1050°C×1h AC+800°C×1h AC)

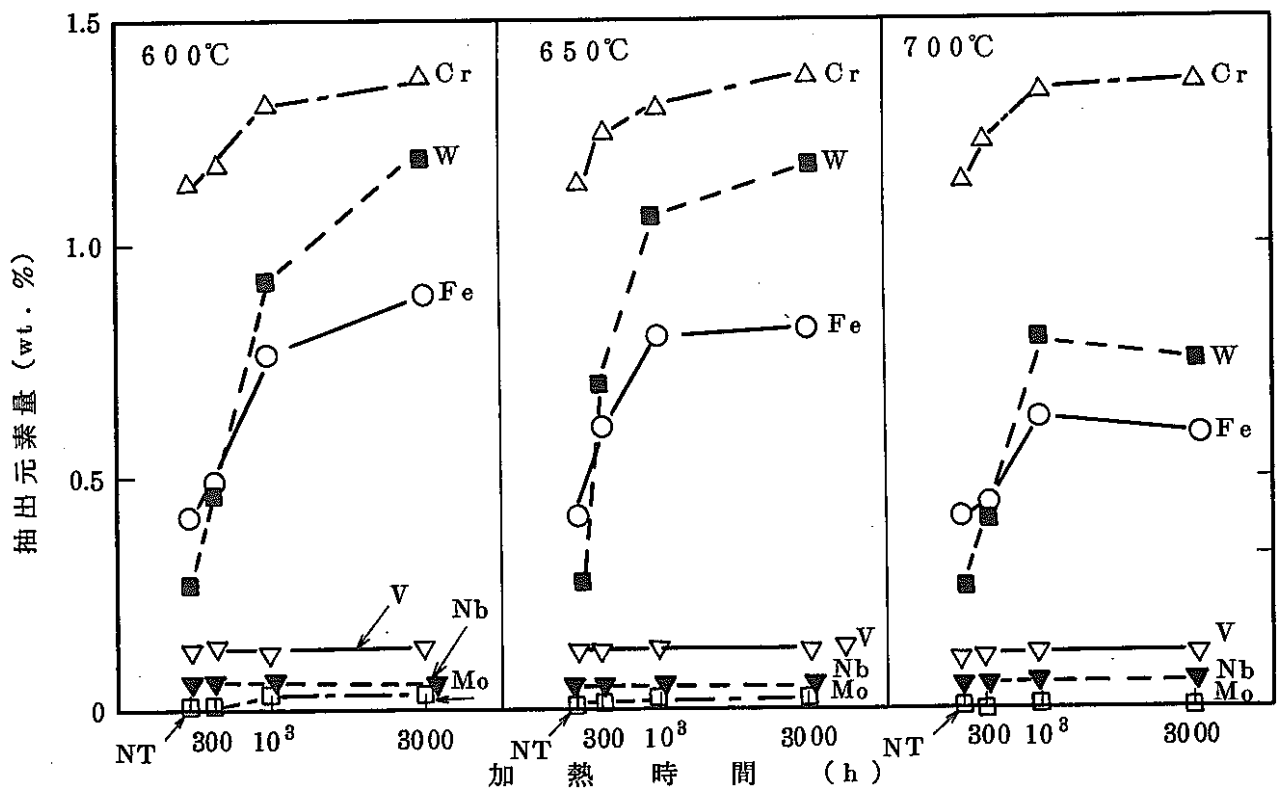


図28. 61F S F鋼長時間加熱後の抽出残渣量変化
(NT: 1050°C×1h AC+750°C×10h AC)

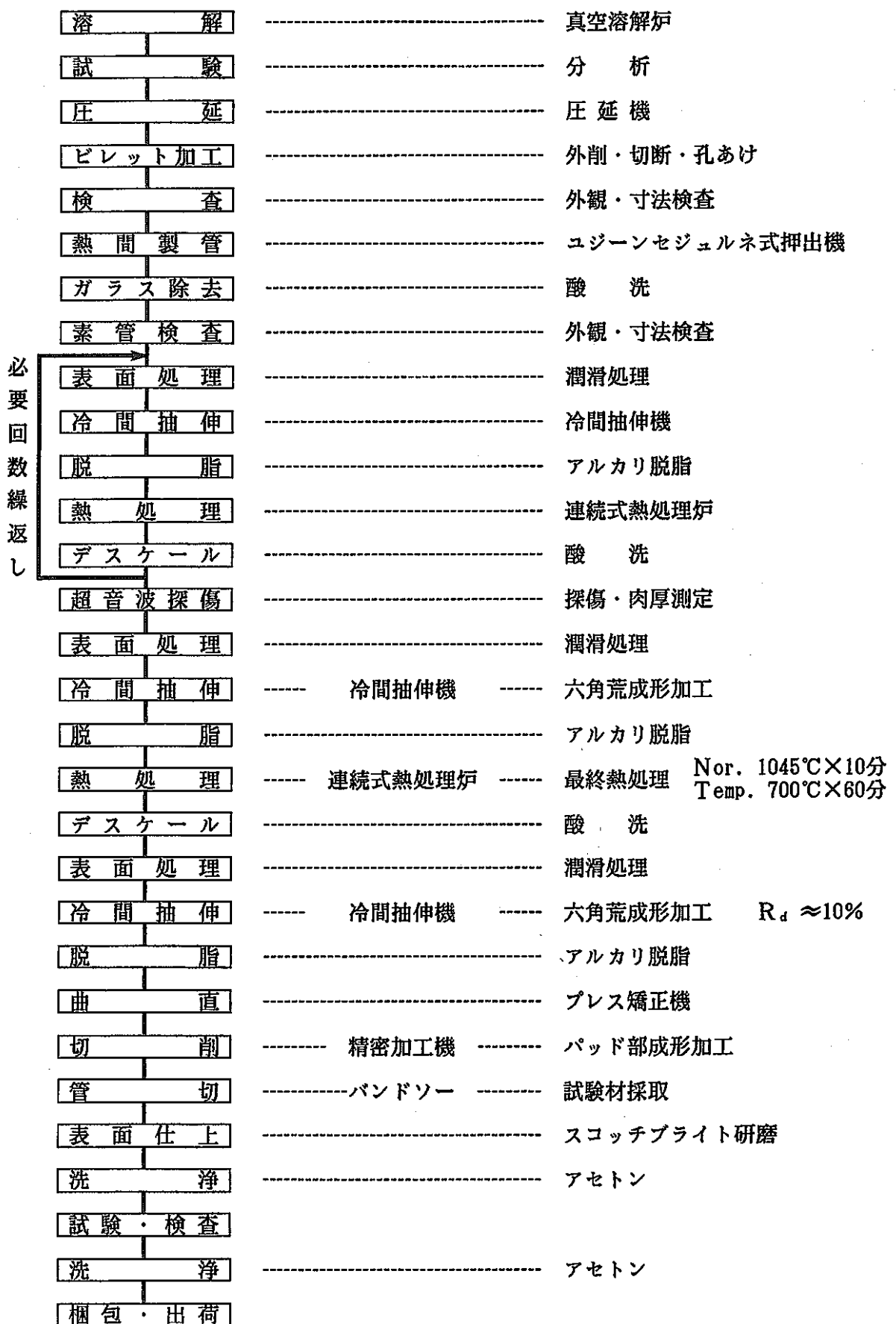


図29. パッド付ラップ管製造工程

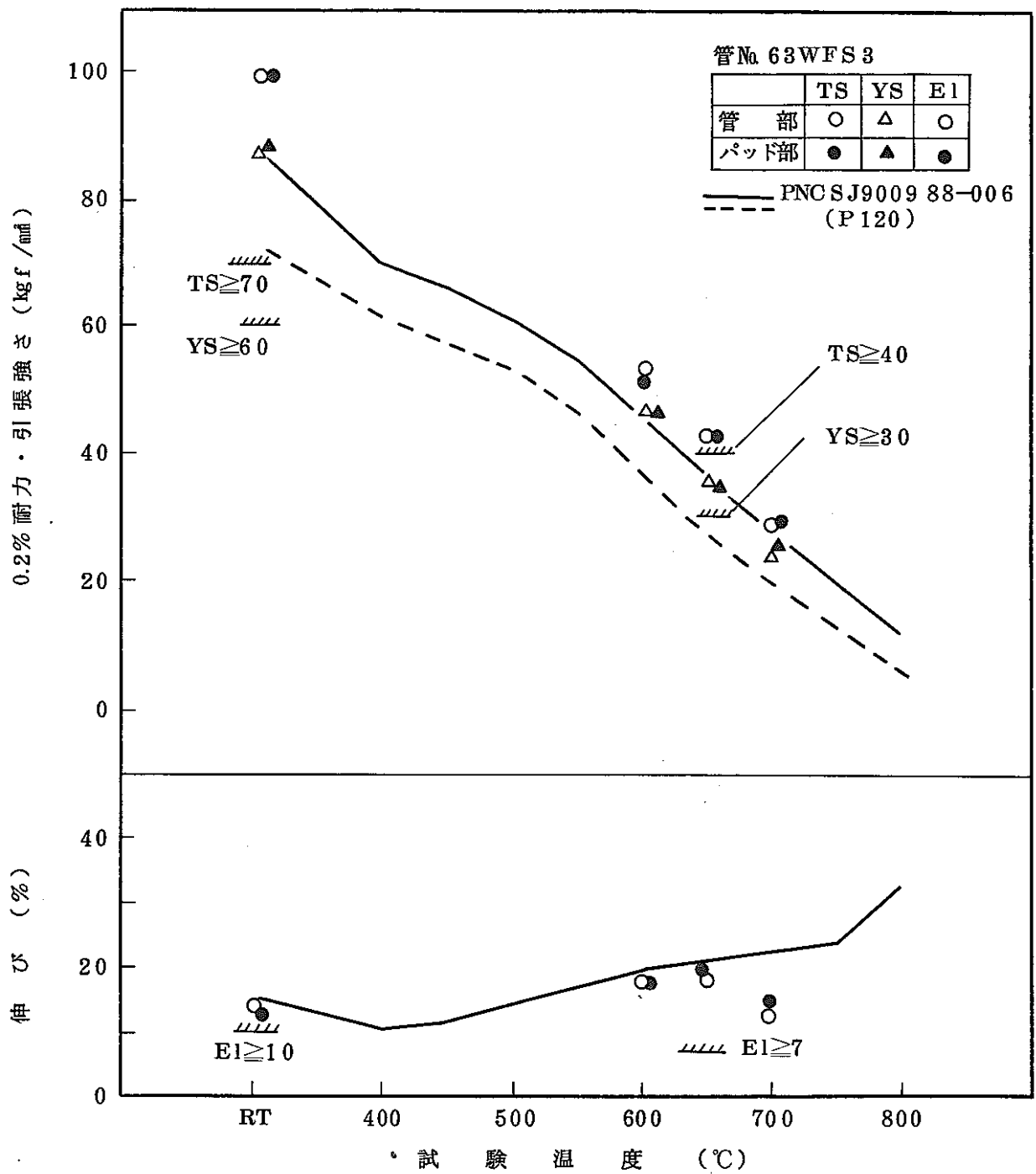


図30. ラップ管の高温引張特性

試験片形状：2.5^t×10^w×55-2mmVノッチ

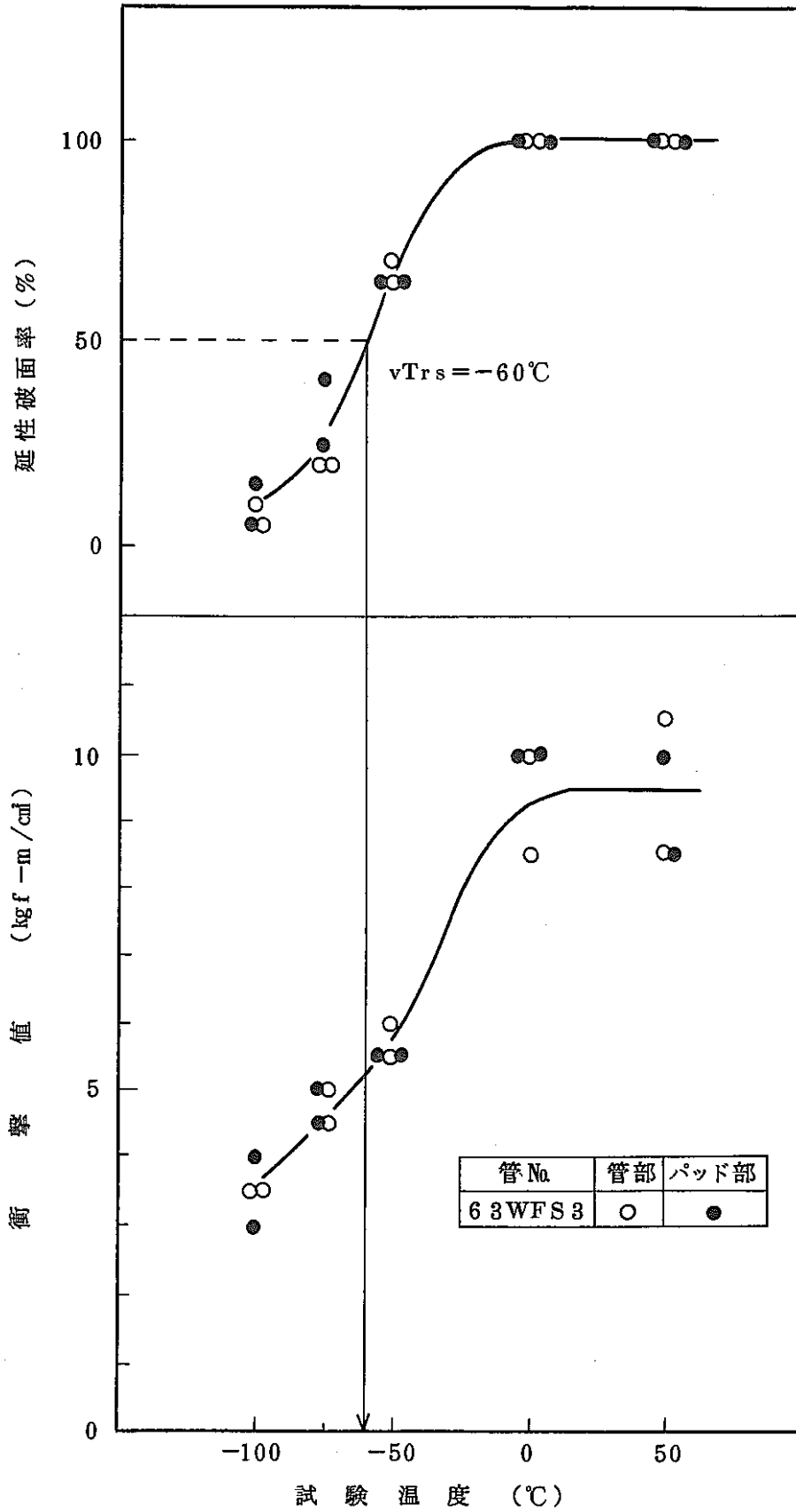
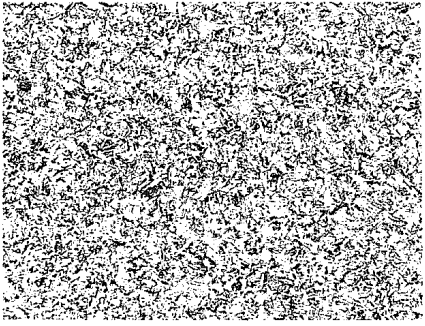
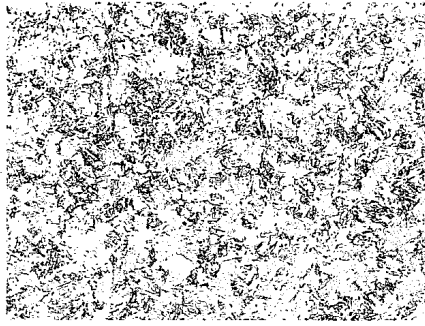


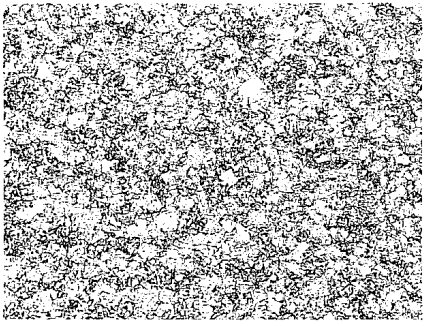
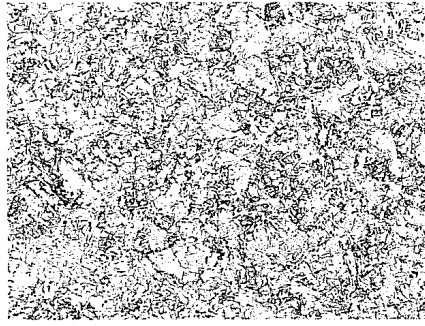
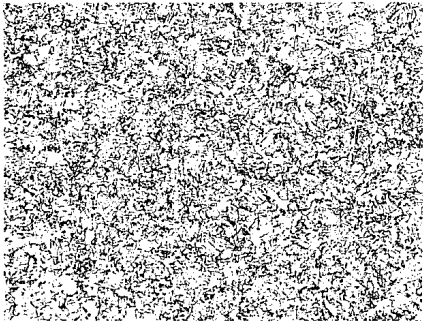
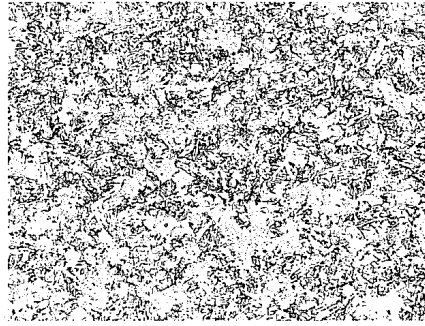
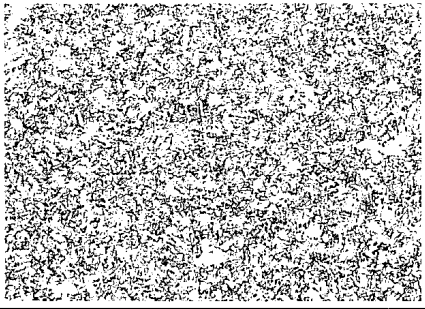
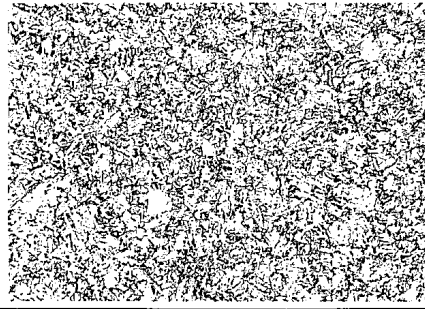


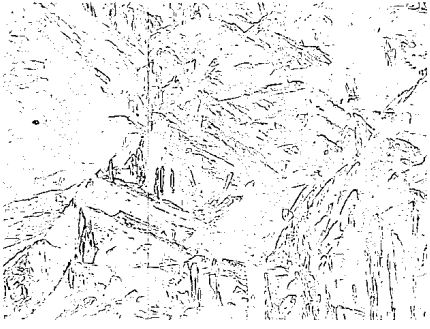
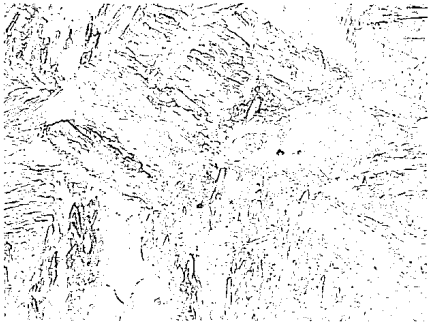

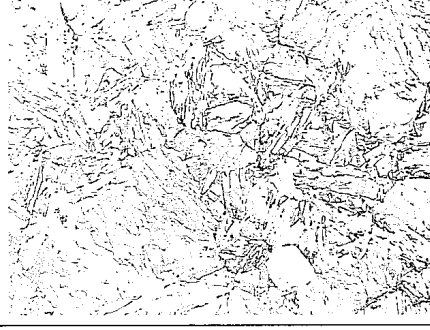
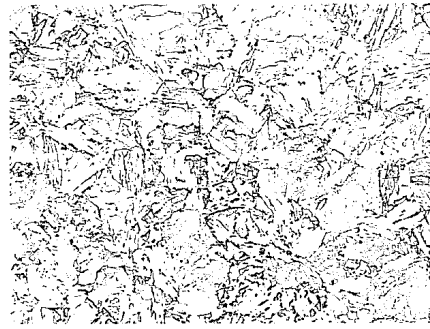





図31. ラップ管の衝撃試験遷移曲線

| Norma Tempe | 1 0 5 0 °C | 1 1 0 0 °C | 1 2 0 0 °C | 1 3 0 0 °C |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| As Norma |  |  |  |  |
| 6 5 0 °C |  |  | — | — |
| 7 0 0 °C |  |  | — | — |
| 7 2 5 °C |  |  | — | — |

100μm

| Norma Tempe | 1 0 5 0 °C | 1 1 0 0 °C | 1 2 0 0 °C | 1 3 0 0 °C |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| As Norma |  |  |  |  |
| 6 5 0 °C |  |  | — | — |
| 7 0 0 °C |  |  | — | — |
| 7 2 5 °C |  |  | — | — |



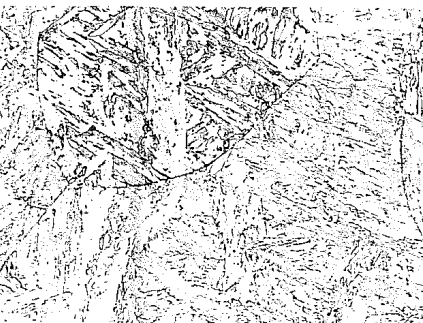
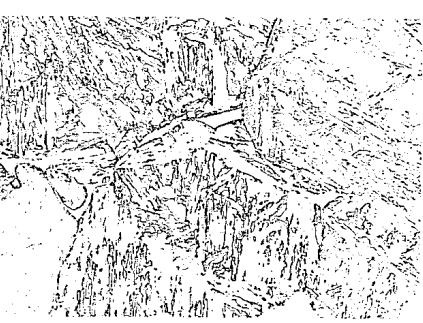
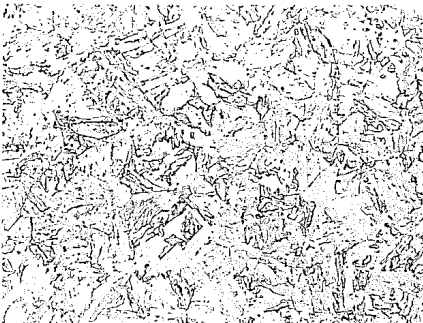
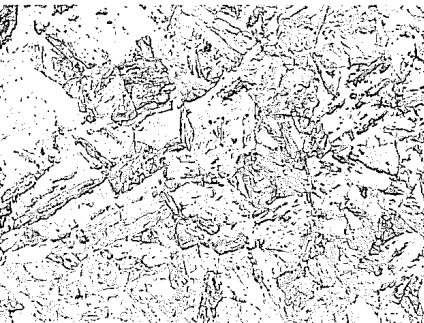
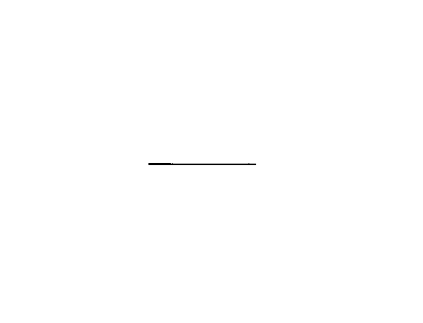
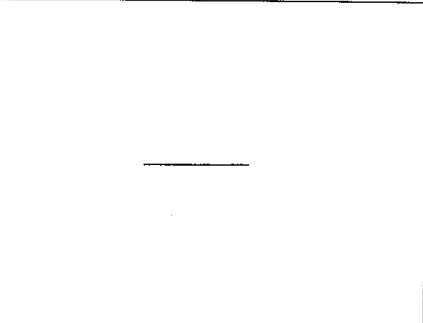
20 μm

写真2. 光学顕微鏡組織写真 (A鋼)

| Norma Tempe | 1050°C | 1100°C | 1200°C | 1300°C |
|----------------|--------|--------|--------|--------|
| 750°C | | | | |
| 800°C | | | — | — |

100 μm

写真3. 光学顕微鏡組織写真 (A鋼)

| Norma Tempe | 1050°C | 1100°C | 1200°C | 1300°C |
|----------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 750°C |  |  |  |  |
| 800°C |  |  |  |  |

20 μm

写真4. 光学顕微鏡組織写真 (A鋼)

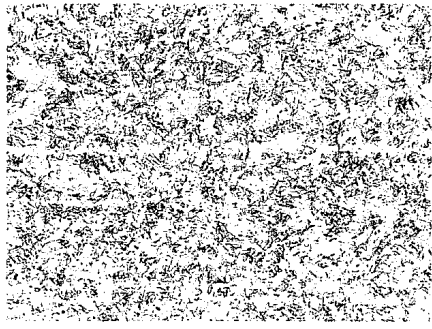
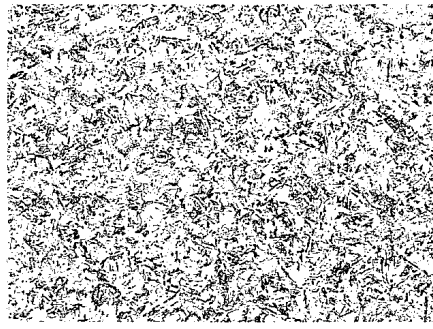
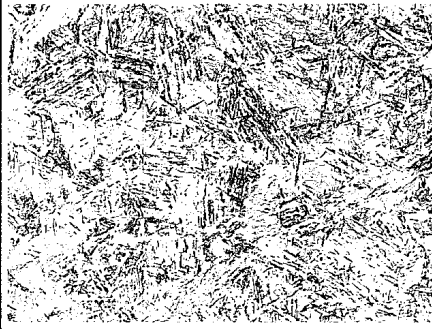
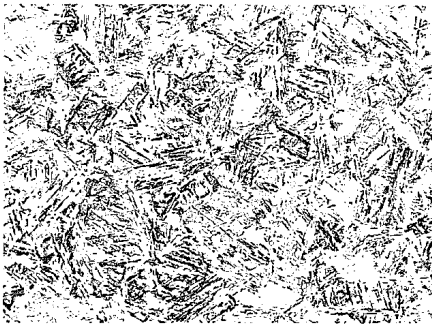
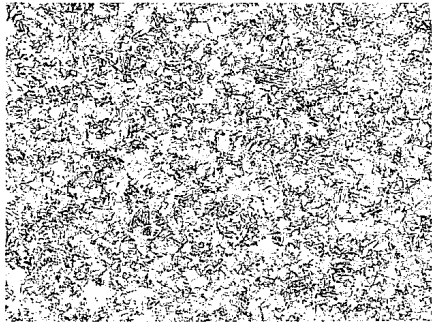
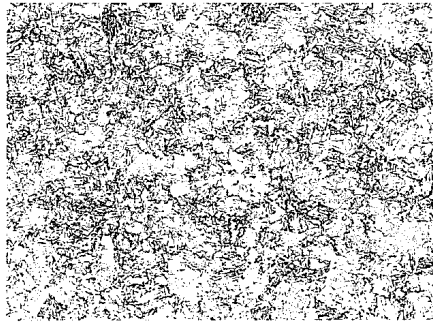
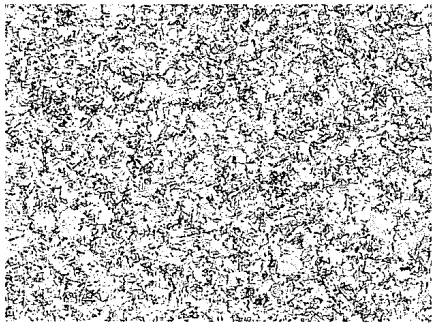
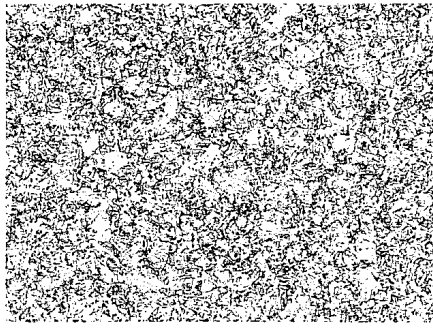
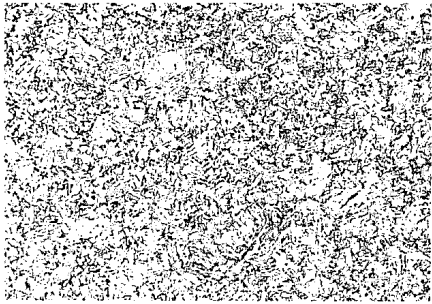
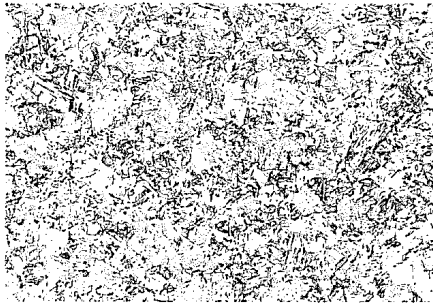
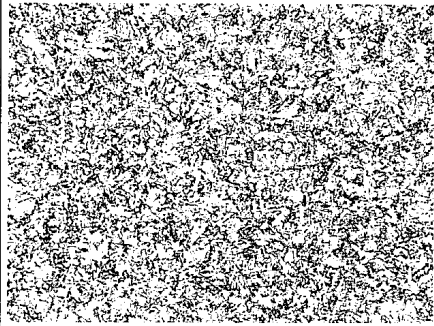
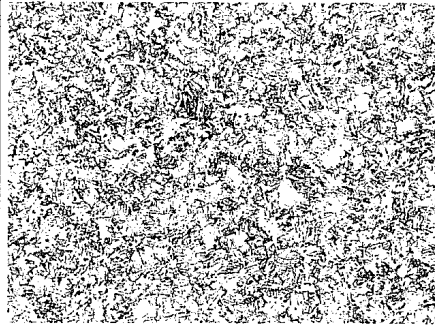


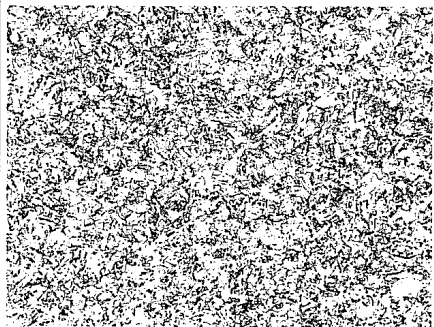
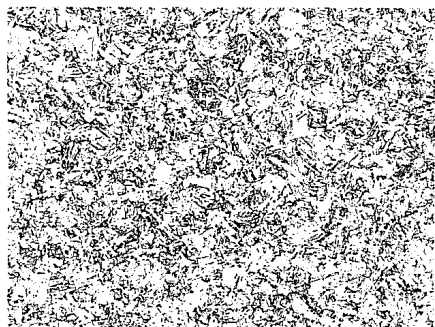
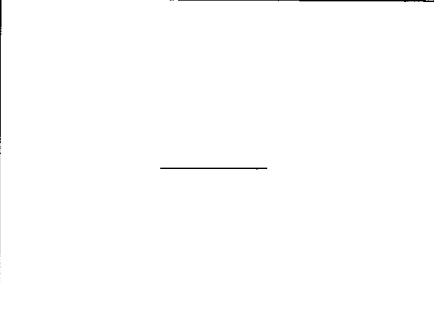
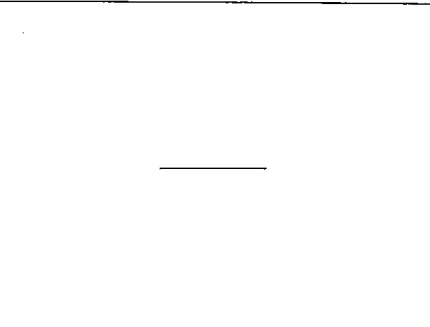
| Norma Tempe | 1050°C | 1100°C | 1200°C | 1300°C |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| As Norma |  |  |  |  |
| 650°C |  |  | — | — |
| 700°C |  |  | — | — |
| 725°C |  |  | — | — |

写真5. 光学顕微鏡組織写真 (B鋼)

| Norma Tempe | 1050°C | 1100°C | 1200°C | 1300°C |
|----------------|--------|--------|--------|--------|
| As Norma | | | | |
| 650°C | | | | |
| 700°C | | | | |
| 725°C | | | | |

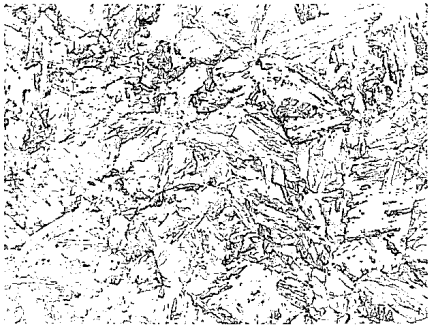
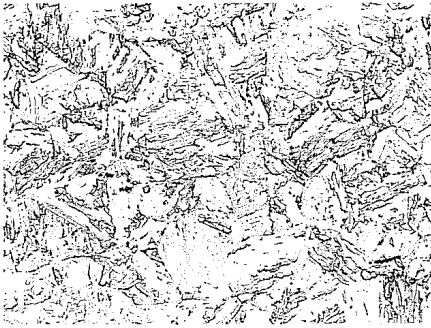




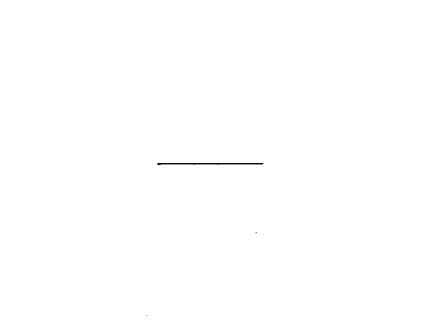
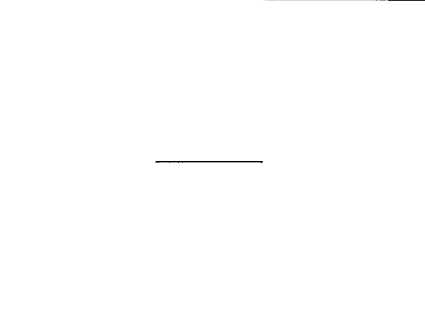
20 μm

写真6. 光学顕微鏡組織写真 (B鋼)

| Norma Tempe | 1050°C | 1100°C | 1200°C | 1300°C |
|----------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 750°C |  |  |  |  |
| 800°C |  |  |  |  |

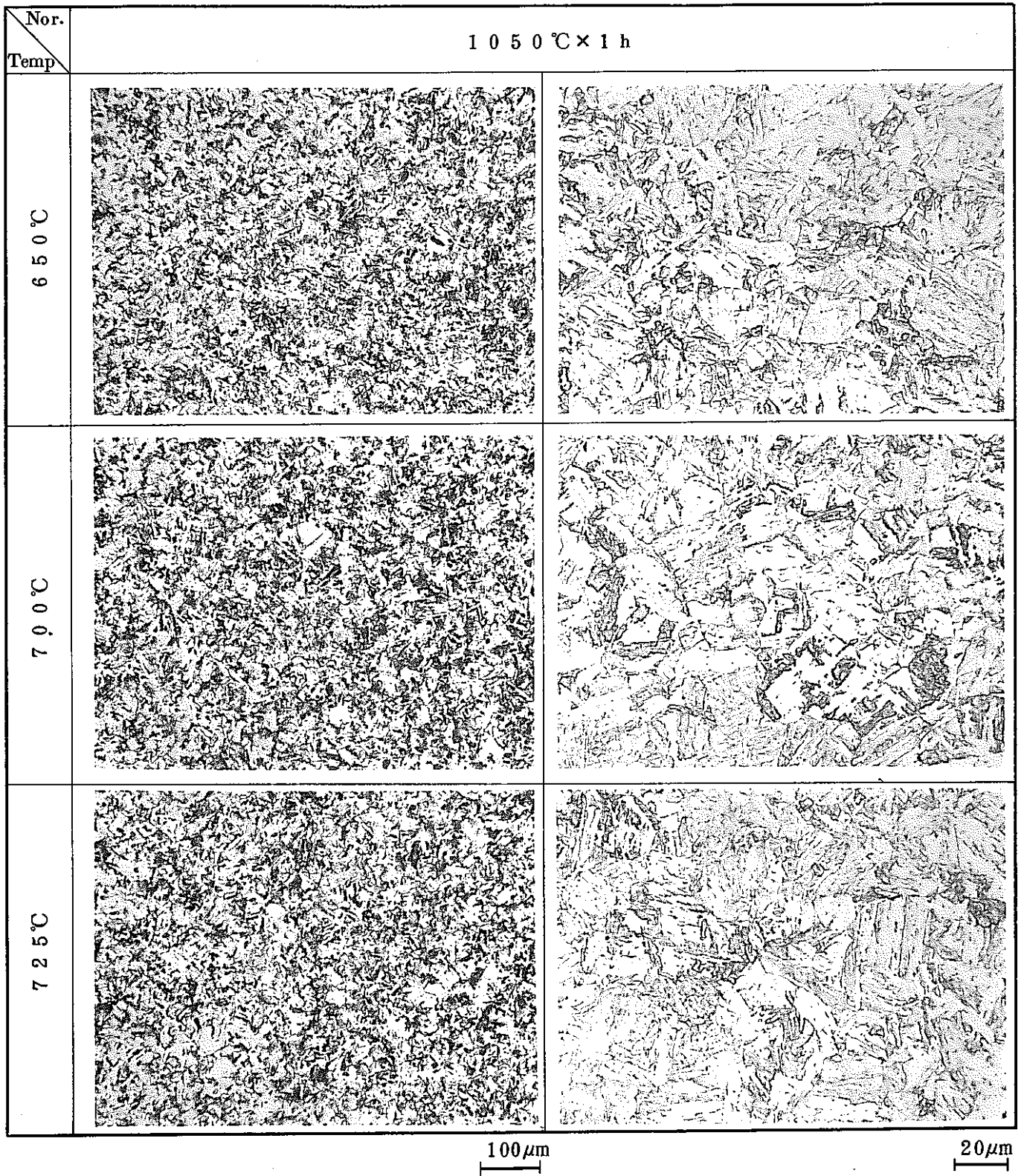
100 μm

写真7. 光学顕微鏡組織写真 (B鋼)

| Norma Tempe | 1 0 5 0 °C | 1 1 0 0 °C | 1 2 0 0 °C | 1 3 0 0 °C |
|----------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 7 5 0 °C |  |  |  |  |
| 8 0 0 °C |  |  |  |  |

20 μm

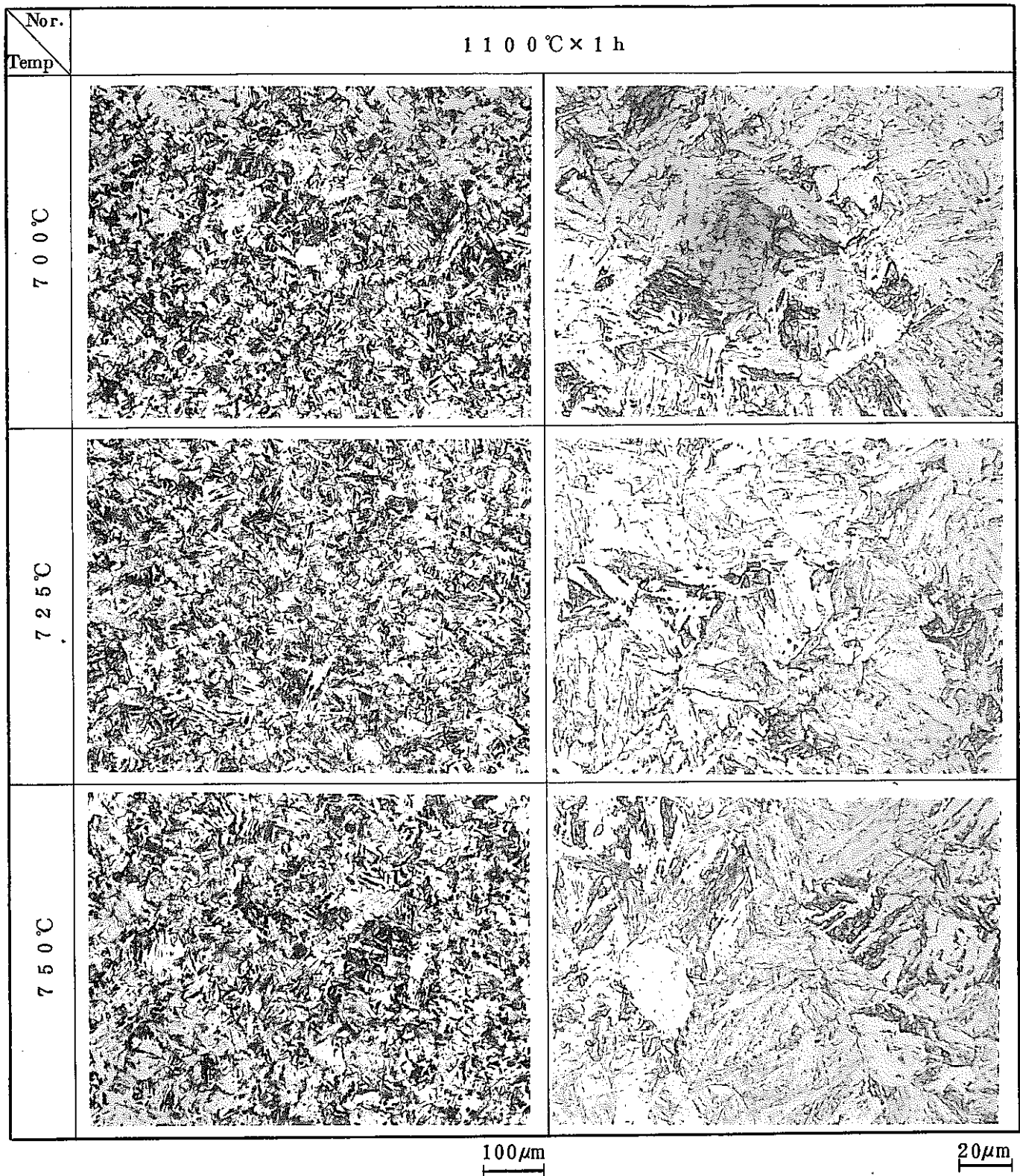
写真8. 光学顕微鏡組織写真 (B鋼)



加熱条件：700°C × 200 h

A鋼

写真9. 長時間加熱後の光学顕微鏡写真 (A鋼)



加熱条件：700°C × 200h

A鋼

写真10. 長時間加熱後の光学顕微鏡写真 (A鋼)



100 μm



20 μm

管No 63WF S1

写真11. ラubber管の光学顕微鏡組織 (横断面)