

熱応力緩和構造供試体(1)の熱過渡強度試験

第2報 伝熱応力解析と強度評価

1989年7月

動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせください。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター システム開発推進部・技術管理室

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

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

熱応力緩和構造モデル(1)の供試体熱過渡強度試験

第2報 伝熱応力解析と強度評価

木村 公隆* , 渡士 克己*
岩田 耕司* , 今津 彰**

要 旨

本研究は、実機設計に使用される典型的な形状及び溶接を対象とし、熱過渡強度の把握及びクリープ疲労評価法の確立を目的として実施したものである。

熱応力緩和構造モデル(1)供試体の熱過渡試験は構造物熱過渡強度確性試験施設(TTS)を用いて実施され、試験による温度計測結果を熱的境界条件として、熱伝導解析及び弾性熱応力解析を実施した。軸対称によるモデル化を基本としたが、軸対称でモデル化が困難なスリット入り円筒胴については3次元によるモデル化を行った。解析には、汎用非線形構造解析システム(FINAS)を用いた。

これらの解析結果を用い、安全裕度を取り除いたクリープ疲労強度評価法(TTSDS)による評価を行った。これによるクリープ疲労損傷値とき裂深さの対応を調査した結果、両者が良好な対応関係にあることを確認した。この結果は、母材部、溶接部とも、TTS試験による従来の強度データと整合しており、このクリープ疲労評価法の有効性が確認された。また、本試験データは今後構造物熱過渡試験データベース作成のための貴重なデータとなるものである。

* 大洗工学センター 構造工学室

** 大洗工学センター 機器構造開発部

July, 1989

Creep Fatigue Test of Thermal Stress Mitigation Structure Model (1)
under Thermal Transient Loadings

(2) Heat Transfer Analyses, Thermal Stress analyses
and Creep Fatigue Evaluation

K. Kimura* , K. Watashi*

K. Iwata * and A. Imazu **

Abstract

This study aims at grasping the thermal transient strength characteristics of typical structures and weldment for FBR plant components, and examining the design evaluation method for creep fatigue failure.

Thermal Stress Mitigation Structure Model(1) was subjected to cyclic thermal loading by using Thermal Transient Test Facility for Structures(TTS). Heat transfer analyses and elastic thermal stress analyses were carried out using the measured temperature data. Axisymmetric finite element analyses were carried out for most parts, and 3-dimensional calculations was performed for the slitted cylinder. Analyses were performed by using Finite Element Nonlinear Structural Analysis System(FINAS).

Creep fatigue damage evaluation based on the evaluation method without safety factors for material strength(TTSDS) was carried out with these analyses results. The relation between creep fatigue damage evaluated by TTSDS and the crack depth of corresponding point was examined. These results correspond with the thermal transient strength tests of other structural elements using TTS so far. These data are to be used for structural thermal transient test data base.

* Structural Engineering Section, OEC

** Systems and Components Division, OEC

目 次

1. まえがき	1
2. 伝熱応力解析	4
2. 1 解析部位	4
2. 2 入口ノズル	7
2. 3 出口ノズル	21
2. 4 スカート	34
2. 5 内筒溶接部	48
2. 6 スリット入り円筒胴	59
3. クリープ疲労強度評価	76
3. 1 評価手法	76
3. 2 評価結果	79
3. 3 評価結果と試験結果	91
4. 検討	109
4. 1 検討項目	109
4. 2 今後の課題	118
5. 結論	119
6. 参考文献	120
付録	121
A. 熱過渡条件	121
B. 熱伝導解析結果	154
C. 熱応力解析結果	174

List of Figures

Fig. 1.1	Flow of Thermal Transient Test	2
Fig. 1.2	Position of This Report in This Study	3
Fig. 2.1.1	Testing Model Configuration	5
Fig. 2.1.2	Flow of Heat Transfer and Thermal Stress Analysis	6
Fig. 2.2.1	Dimension of Inlet Nozzle	10
Fig. 2.2.2	Finite Element Model of Inlet Nozzle	11
Fig. 2.2.3	Boundary Condition for Heat Transfer Analysis	12
Fig. 2.2.4	Boundary Condition for Thermal Stress Analysis	13
Fig. 2.2.5	Stress Distribution along the Inner Surface 1	14
Fig. 2.2.6	Stress Distribution along the Inner Surface 2	15
Fig. 2.2.7	Classification Lines for Inlet Nozzle	16
Fig. 2.3.1	Dimension of Outlet Nozzle	23
Fig. 2.3.2	Finite Element Model for Heat Transfer Analysis	24
Fig. 2.3.3	Boundary Condition for Heat Transfer Analysis	25
Fig. 2.3.4	Finite Element Model for Thermal Stress Analysis	26
Fig. 2.3.5	Boundary Condition for Thermal Stress Analysis	27
Fig. 2.3.6	Stress Distribution along the Inner Surface	28
Fig. 2.3.7	Classification Lines for Outlet Nozzle	29
Fig. 2.4.1	Dimension of Skirt	36
Fig. 2.4.2	Finite Element Model of Skirt	37
Fig. 2.4.3	Boundary Condition for Heat Transfer Analysis	38
Fig. 2.4.4	Boundary Condition for Thermal Stress Analysis	39
Fig. 2.4.5	Temperature Distribution along the Inner Surface 2	40
Fig. 2.4.6	Stress Distribution along the Inner Surface 1	41
Fig. 2.4.7	Stress Distribution along the Inner Surface 2	42
Fig. 2.4.8	Classification Lines for Skirt	43

Fig. 2.5.1	Inner Shell Weldment Position	50
Fig. 2.5.2	Dimension of Inner Shell Weldment	51
Fig. 2.5.3	Boundary Condition for Heat Transfer Analysis	52
Fig. 2.5.4	Boundary Condition for Thermal Stress Analysis	53
Fig. 2.5.5	Classification Lines for Inner Shell Weldment	54
Fig. 2.6.1	Slitted Cylinder Configuration	61
Fig. 2.6.2	Dimension of Slitted Cylinder	62
Fig. 2.6.3	Finite Element Model for Heat Transfer Analysis	63
Fig. 2.6.4	Boundary Condition for Heat Transfer Analysis	64
Fig. 2.6.5	Finite Element Model for Thermal Stress Analysis	65
Fig. 2.6.6	Boundary Condition for Thermal Stress Analysis	66
Fig. 2.6.7	Temperature Distribution along the Inner Surface	67
Fig. 2.6.8	Temperature Distribution along the Outer Surface	68
Fig. 2.6.9	Stress Distribution along the Inner Surface 1	69
Fig. 2.6.10	Stress Distribution along the Inner Surface 2	70
Fig. 2.6.11	Classification Lines for Slitted Cylinder	71
Fig. 3.1.1	Flow of TTSDS	78
Fig. 3.3.1	D-a Relation(Inlet Nozzle)	100
Fig. 3.3.2	D-a Relation(Outlet Nozzle)	101
Fig. 3.3.3	D-a Relation(Skirt)	102
Fig. 3.3.4	D-a Relation(Inner Shell Weldment)	103
Fig. 3.3.5	D-a Relation(Slitted Cylinder)	104
Fig. 3.3.6	D-a Relation(Base Metal)	105
Fig. 3.3.7	D-a Relation(Weld Joint)	106
Fig. 3.3.8	Comparison of D-a Relation(Base Metal)	107
Fig. 3.3.9	Comparison of D-a Relation(Weld Joint)	108
Fig. 4.1.1	Stress Distribution (Liner to Nozzle Junction)	111
Fig. 4.1.2	Stress Distribution (Nozzle Corner)	112
Fig. 4.1.3	Section Sketch of Inner Shell Weldment	116
Fig. 4.1.4	Vicker's Hardness Test Results of Inner Shell Weldment	117

List of Tables

Table 2.2.1	Heat Transfer Analysis Step of Inlet Nozzle	17
Table 2.2.2	Thermal Stress Analysis Step of Inlet Nozzle	18
Table 2.2.3	Stress Summary for TTSDS (Inlet Nozzle)	19
Table 2.2.4	Stress Summary for BDS (Inlet Nozzle)	20
Table 2.3.1	Heat Transfer Analysis Step of Outlet Nozzle	30
Table 2.3.2	Thermal Stress Analysis Step of Outlet Nozzle	31
Table 2.3.3	Stress Summary for TTSDS (Outlet Nozzle)	32
Table 2.3.4	Stress Summary for BDS (Outlet Nozzle)	33
Table 2.4.1	Heat Transfer Analysis Step of Skirt	44
Table 2.4.2	Thermal Stress Analysis Step of Skirt	45
Table 2.4.3	Stress Summary for TTSDS (Skirt)	46
Table 2.4.4	Stress Summary for BDS (Skirt)	47
Table 2.5.1	Heat Transfer Analysis Step of Inner Shell Weldment	55
Table 2.5.2	Thermal Stress Analysis Step of Inner Shell Weldment	56
Table 2.5.3	Stress Summary for TTSDS (Inner Shell Weldment)	57
Table 2.5.4	Stress Summary for BDS (Inner Shell Weldment)	58
Table 2.6.1	Heat Transfer Analysis Step of Slitted Cylinder	72
Table 2.6.2	Thermal Stress Analysis Step of Slitted Cylinder	73
Table 2.6.3	Stress Summary for TTSDS (Slitted Cylinder)	74
Table 2.6.4	Stress Summary for BDS (Slitted Cylinder)	75
Table 3.2.1	Creep Fatigue Damage according to TTSDS (Inlet Nozzle)	81
Table 3.2.2	Creep Fatigue Damage according to TTSDS (Outlet Nozzle)	82
Table 3.2.3	Creep Fatigue Damage according to TTSDS (Skirt)	83
Table 3.2.4	Creep Fatigue Damage according to TTSDS (Inner Shell Weldment)	84

Table 3.2.5	Creep Fatigue Damage according to TTSDS (Slitted Cylinder)	85
Table 3.2.6	Creep Fatigue Damage according to BDS (Inlet Nozzle)	86
Table 3.2.7	Creep Fatigue Damage according to BDS (Outlet Nozzle)	87
Table 3.2.8	Creep Fatigue Damage according to BDS (Skirt)	88
Table 3.2.9	Creep Fatigue Damage according to BDS (Inner Shell Weldment) ...	89
Table 3.2.10	Creep Fatigue Damage according to BDS (Slitted Cylinder)	90
Table 3.3.1	Creep Fatigue Damage and Crack Depth (Inlet Nozzle)	95
Table 3.3.2	Creep Fatigue Damage and Crack Depth (Outlet Nozzle)	96
Table 3.3.3	Creep Fatigue Damage and Crack Depth (Skirt)	97
Table 3.3.4	Creep Fatigue Damage and Crack Depth (Inner Shell Weldment).....	98
Table 3.3.5	Creep Fatigue Damage and Crack Depth (Slitted Cylinder)	99

List of Photographs

Photo 4.1.1	Penetration Test of Inlet Nozzle	110
Photo 4.1.2	Penetration Test of Inner Shell Weldment	114
Photo 4.1.3	Section of Inner Shell Weldment	115

1. まえがき

高速炉機器の設計において耐熱応力設計は重要課題のひとつである。熱過渡強度試験はこの課題に対して実施されるものであり、強度データの採取による裕度の適正化及び代表形状のモデル化による評価法の確立を目的としている。

構造物強度確性試験施設（T T S）は上記試験の実施を目的として昭和59年に設置されたものであり、これまでに試運転モデル、原子炉容器モデル、ベローズ継手モデルの各供試体について熱過渡強度試験が実施されている。

今回T T Sでの熱過渡強度試験に供した第4回供試体“熱応力緩和構造モデル（1）”（以下“熱緩（1）”と略すことがある）は、実機設計に使用される典型的な形状や溶接構造をモデル化して供試体に取り込むことにより、それらの部位における熱過渡に対する強度データを採取することを目的に設計、製作された。

本供試体における評価対象部位を具体的に示すと下記のようなになる。（詳細選定根拠等については第1報を参照されたい。）

- （1）熱過渡強度設計上注意を要する構造不連続部位をモデル化し強度データを得る。本供試体における対象部位は、ノズル構造、スカート構造及びスリット入り円筒胴構造である。
- （2）数種の溶接方法による溶接部を内筒へ導入し強度データを得る。

本試験の全体の流れはFig. 1.1 に示す通りであり、このうち供試体の設計、製作、試験、試験中の非破壊検査および試験後の解体検査に関しては第1報に詳述する。

本報は、熱応力緩和構造モデル（1）に関する一連の報告書のうち、第1報での試験検査結果を受けて実施した伝熱応力解析結果及び強度評価結果を示すものであり、他の報告書との関係は、Fig. 1.2 に示す通りである。

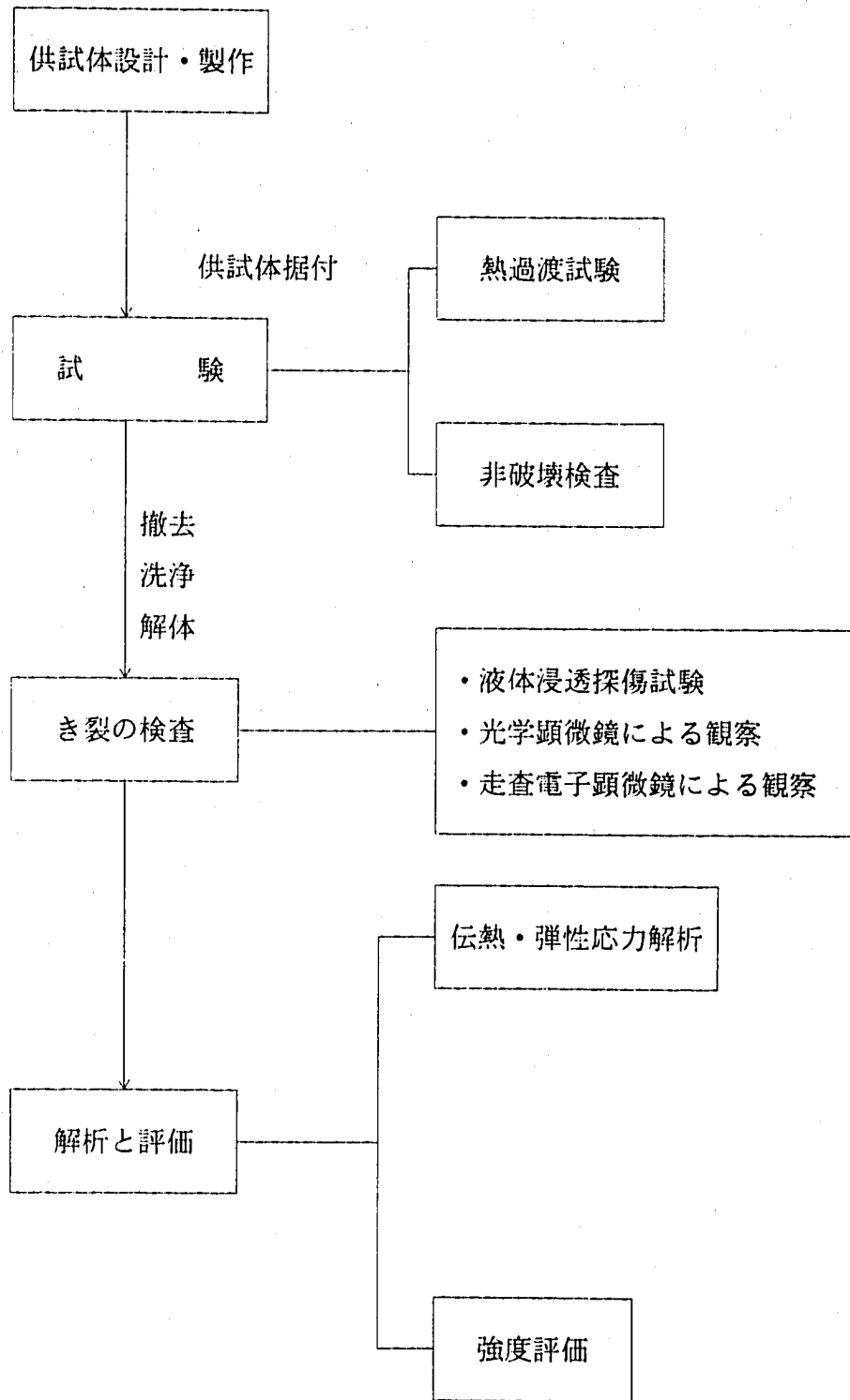


Fig 1.1 Flow of Thermal Transient Test

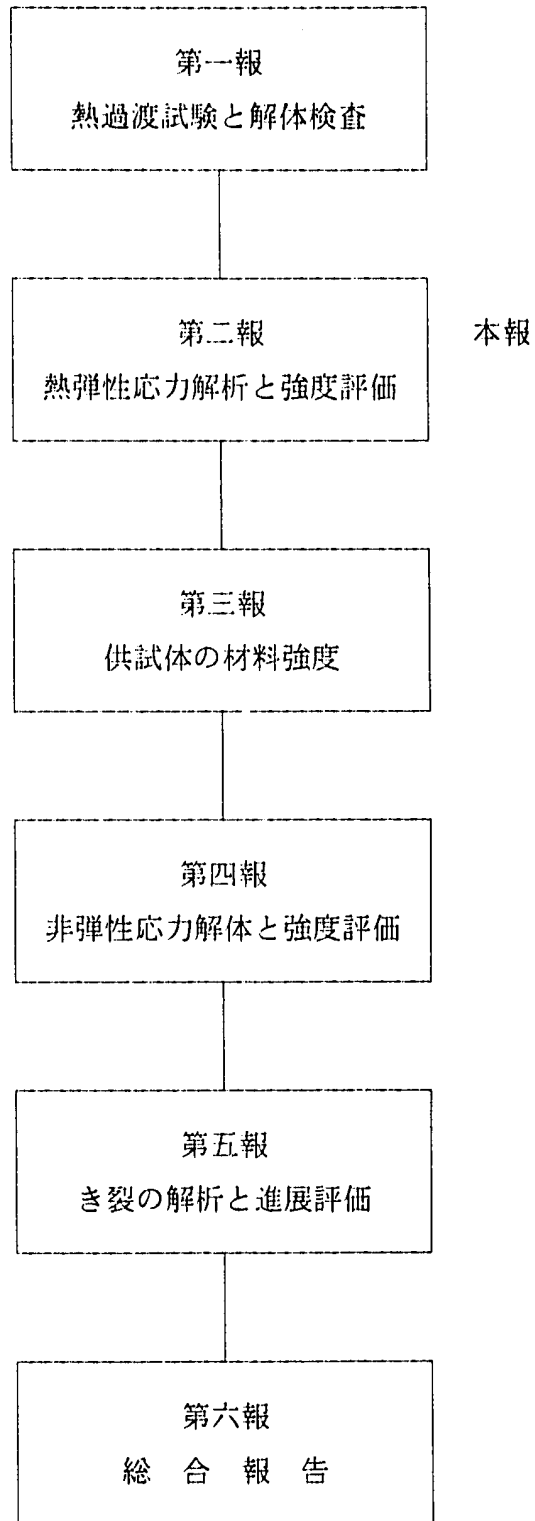


Fig. 1.2 Position of This Report in This Study

2. 伝熱応力解析

2. 1 解析部位

Fig. 2.1.1 に示す供試体（熱応力緩和構造供試体(1)）の熱過渡強度試験を構造物強度確性試験施設（T T S）で実施した。熱過渡の負荷は、供試体の入口ノズルから620℃と250℃のナトリウムをそれぞれ80分と40分交互に流入させることによって行う。この120分を1サイクルとする熱過渡は1300回繰り返され、熱過渡試験終了後供試体は解体検査に供された。^(注1)

本供試体には、強度試験対象部位として図に示す入口ノズル、出口ノズル、支持スカート及びスリット入り円筒胴の構造不連続部並びに内筒に周方向に設けられた4種類の溶接を含む各種溶接が盛り込まれている。なお本供試体の詳細については第1報に示されている。

ここでは、各強度評価部位について実施した伝熱応力解析の解析モデル化及び解析結果を示す。

伝熱応力解析の流れの概略をFig. 2.1.2 に示す。

注1. 熱過渡条件と繰り返し数は、供試体中の複数の破損させる場所で破損するように、供試体構造、熱過渡条件、繰り返し数および製作法をパラメトリック解析等により挙動を把握し、クリープ疲労損傷、熱疲労損傷および従来強度データとの対応を考慮して決定した。詳細は本試験研究の第1報を参照されたい。

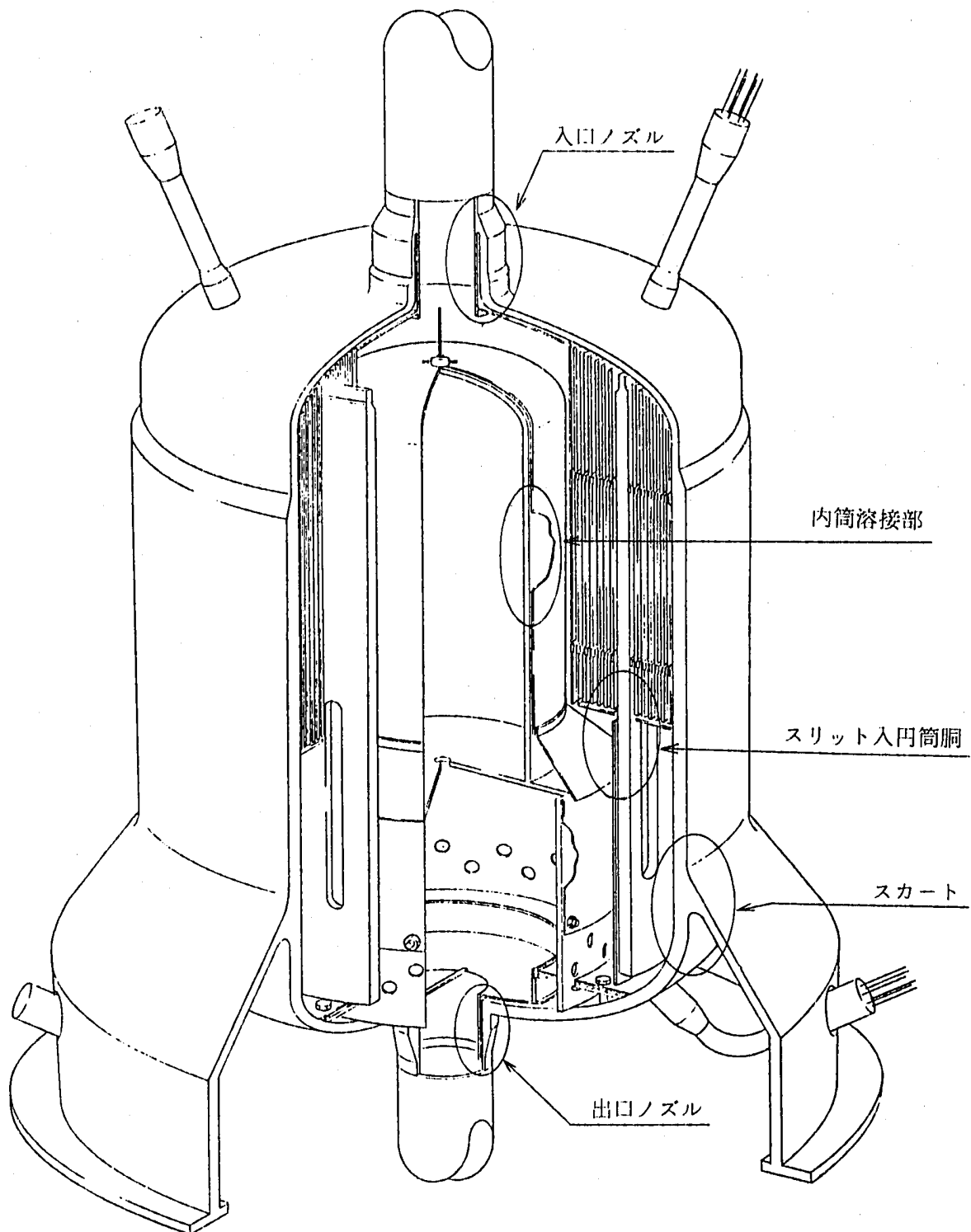


Fig. 2.1.1 Testing Model Configuration

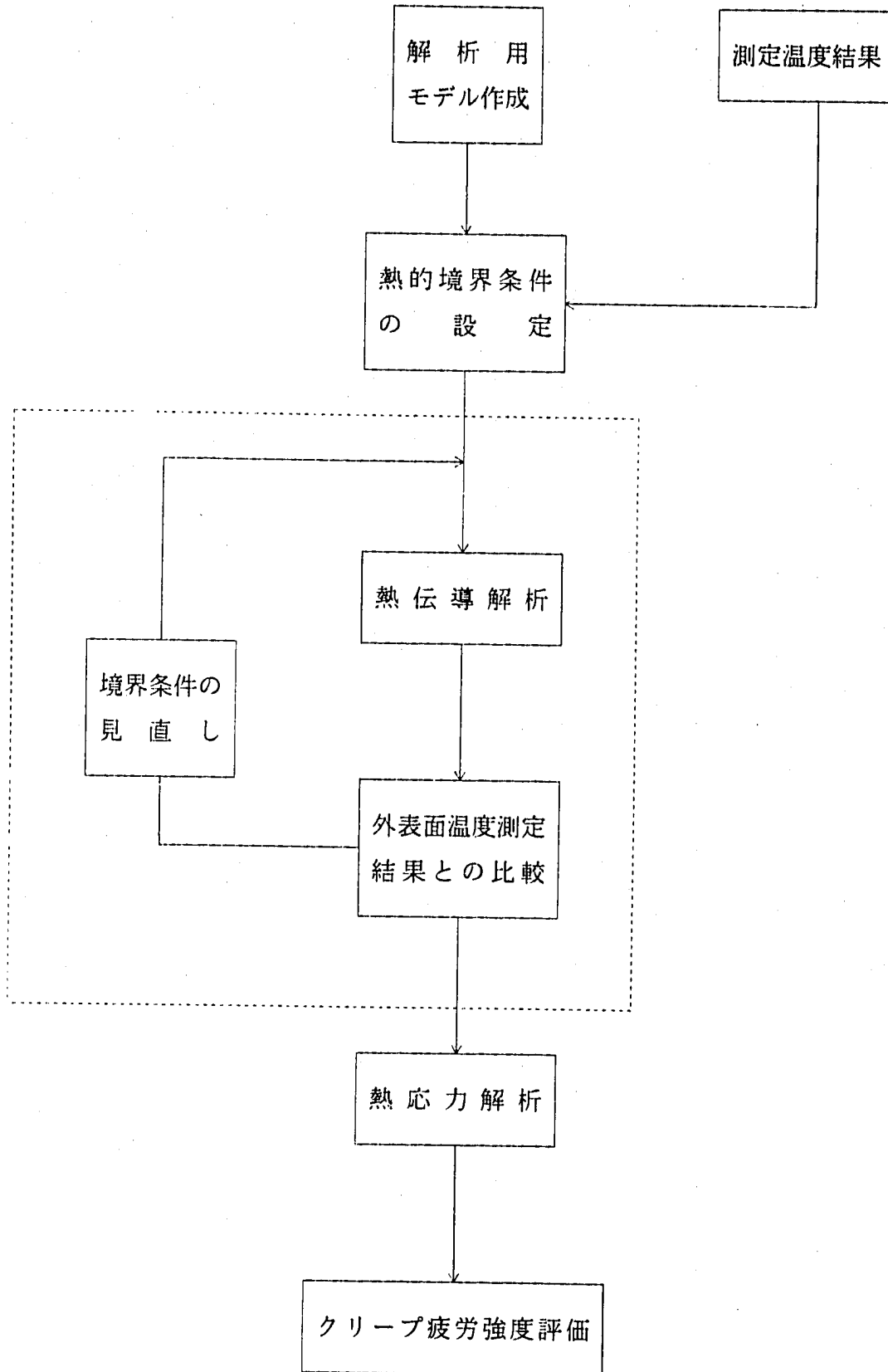


Fig 2.1.2 Flow of Heat Transfer and Thermal Stress Analysis

2. 2 入口ノズル

本供試体で入口ノズルには熱遮蔽板付きの一体鍛造型のノズルを採用している。この形状は熱荷重が厳しい部分に使用される代表的なノズル形状であり、今回は基本的には原型炉中間熱交換器の1次側入口ノズル形状を模擬したものとしている。設計にあたって次の点が配慮されている。

- ・ノズル先端部は、RTを実施する際勾配1/4以下は平滑部として取り扱えるため、勾配は、 14° と設定している。
- ・ノズル平行部の板厚は、配管反力による2次応力あるいは1次応力を小さくするように配管部に比較して厚肉化している。また、ノズルコーナー部は構造不連続部であり内圧及び配管反力による1次応力を小さくするよう厚肉化されている。

2. 2. 1 伝熱解析

供試体入口配管部から上鏡までを解析範囲とする。構造寸法をFig. 2.2.1に示す。

要素分割図をFig. 2.2.2に示す。総要素数は 277、総節点数は 729である。

管台及び上鏡の内側に設置される熱遮蔽板とノズル構造材との間のナトリウム部分は、熱遮蔽板内面と構造材内面の試験温度データを検討した結果、主流路からこの部分へのナトリウムの流れ込みがあり、スタグナントナトリウムとしてナトリウムの物性値でモデル化して取り扱うのが困難なため、ナトリウム部分は当該物性値でモデル化せず構造材のナトリウム接液面を熱伝達境界としてモデル化することとした。

熱遮蔽板付け根部の熱遮蔽板ガス抜き穴より上の部分は、構造上はガス空間になると考えられる。しかしこの部分をアルゴンの物性値でモデル化すると、付け根部高さの構造材外面の温度変化が試験結果と比較してかなり遅いという結果となった。このためこの部分を熱伝達リンク要素でモデル化し、試験で得られた外面の温度変化と伝熱解析結果が合うように熱伝達率を設定するものとした。

伝熱解析用の境界条件をFig. 2.2.3に示す。

境界条件は、構造材内面を入力する熱伝達境界として境界を分割し、試験で得られた内面の温度変化を時間に対して多直線近似した熱過渡条件を与え、外面を断熱とした。ここで使用する熱伝達率は、試験で得られた外面の温度変化と合わせるために設定したものであり、通常の意味の熱伝達率は温度境界層外の主流と構造物表面温度に対して定義されるが、流路のせまい場合の主流や温度境界層が必ずしも明確でないことから、ここで用いる熱伝達率には試験結果と解析結果を合わせる境膜係数の意味が強く、特定流況下での物理的意味の検討は行わないものとする。このことは他のモデルについても同様である。

温度入力条件は、供試体の熱過渡試験で得られた熱電対による温度計測結果を用いている。熱電対取り付け位置については、設置総数の制限、構造上や組立上の都合による設置位置の制限がある。今回の解析モデル化にあたって計装点数が必ずしも十分とは言えないため、部分的に内挿値を用いているところがある。

解析に使用した熱過渡条件を付録Aに示す。

熱遮蔽板についてはアルゴンガス部を除いて熱遮蔽板外面にも熱遮蔽板内面の温度変化を用いた。これは熱遮蔽板外面温度を計測していないため、熱遮蔽板内面または構造材内面の温度を使う必要があるが、熱遮蔽板は薄肉であり温度追従が速いため構造材内面の温度変化を用いるより現実に近いと考えたためである。

上鏡部については入口ノズル近傍に熱電対がないためノズルコーナー部とコーナー部からやや離れた位置の熱電対温度の内挿値を用いた。

解析時刻とステップ数の関係をTable 2.2.1 に示す。

コールドショック開始時にはホットの定常状態に達しているが、ホットショック開始時にはコールドの定常状態に達していないため、コールドショック開始時からホットショック開始後300秒までを解析対象時間とした。ホットショックは300秒までに最大応力発生時点を含むからである。

2. 2. 2 熱応力解析

モデルは形状的には熱伝導解析用モデルから熱伝達要素を除いたものと同一である。

総要素数は 198, 総節点数は 729 である。

熱応力解析用の境界条件をFig. 2.2.4 に示す。

端部の境界条件については、入口配管側端部は配管との接続を考え軸方向ファスニングとした。上鏡側は上鏡の形状がR923の部分のみをモデル化しており、球の一様膨張を考え、端部において上鏡半径の中心に対して周方向変位固定の条件とした。

熱応力解析ステップと熱伝導ステップとの対応をTable 2.2.2 に示す。

熱応力解析結果の応力は次のように表示した。SIG-R; σ_r kgf/mm², SIG-Z; σ_z kgf/mm², SIG-TH; σ_θ kgf/mm², TAU-RZ; τ_{rz} kgf/mm², Mises; 弾性解析結果に基づくVon Mises型応力kgf/mm²

2. 2. 3 伝熱解析結果

ガス層を熱伝達リンク要素でモデル化することにより、熱遮蔽板付け根部高さのノズル外面での温度変化は試験結果のデータとかなり近い変化を示すことができた。この結果から、この温度解析におけるモデル化は妥当なものといえる。

その他の位置での外面温度の試験結果との比較を付録Bに示す。

2. 2. 4 熱応力解析結果

熱遮蔽板付け根部廻りの部分の流路側の長さ方向に沿った応力分布をFig. 2. 2. 5 に示す。これによると、軸方向応力と周方向応力を比較すると、付け根部近傍では軸方向応力のほうが大きい。他の部分では周方向応力のほうが大きくなっている。また付け根部近傍では軸方向応力と周方向応力が逆符号であり相当応力が極大値をとる。

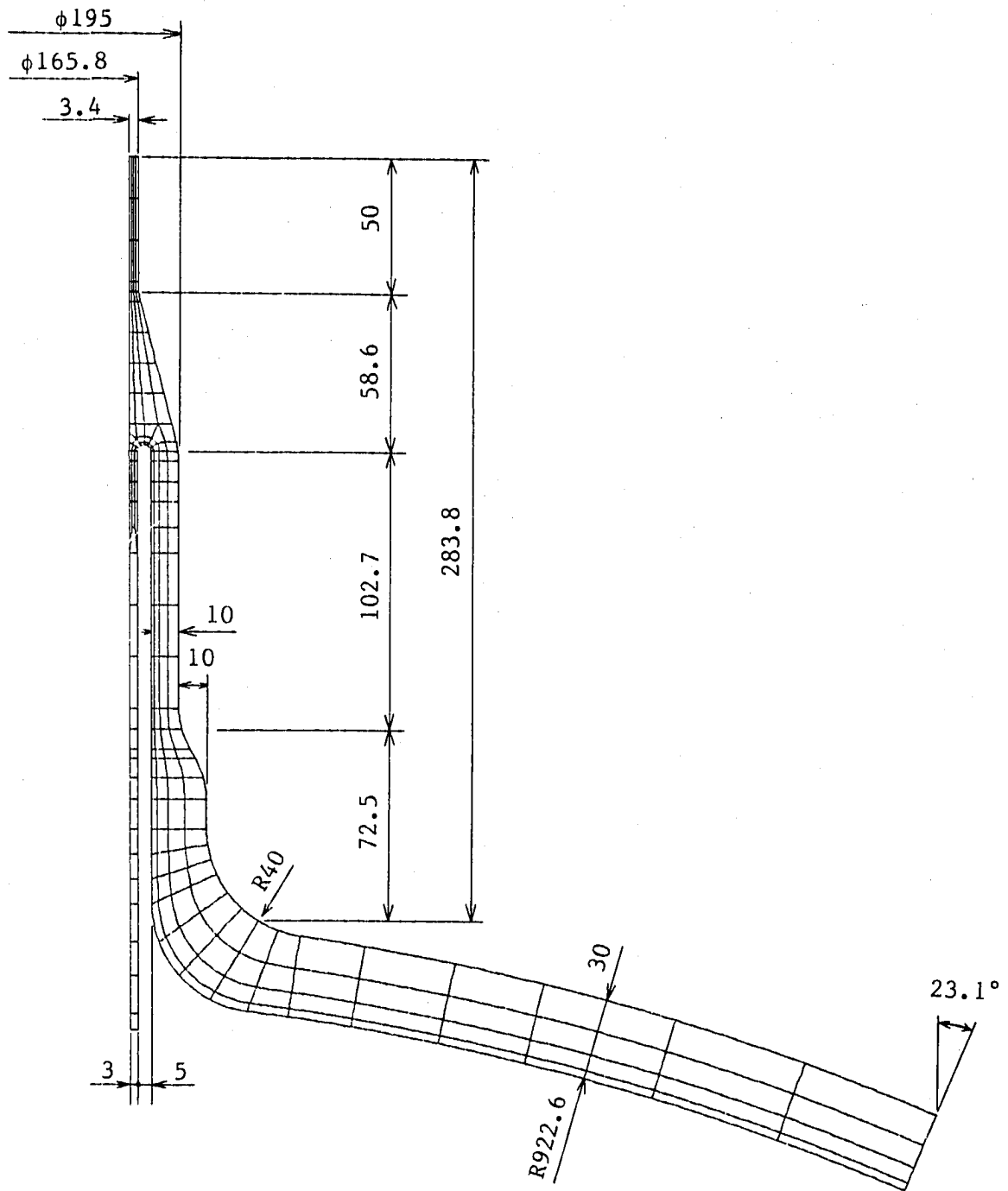
熱遮蔽板付け根部廻りの部分を受ける熱過渡は、入口ノズルの主流の温度変化である。熱遮蔽板付け根部廻りの応力は、熱遮蔽板とノズル管の温度差によるものが主となる。入口の温度変化はホットショックとコールドショックがほぼ同程度の温度変化であるために両者でほぼ同程度の応力がでてくる。

熱遮蔽板付け根部外面からコーナ部内面に沿った応力分布をFig. 2. 2. 6 に示す。これによると、相当応力はコーナ部で極大値をとる。コーナ部廻りが受ける熱過渡は、熱遮蔽板外側の構造材に接するナトリウムによる温度変化による応力である。この部分の温度変化速度はコールドショックがホットショックに比しかなり緩くなっている。このため、コーナ部ではコールドショックでの応力がホットショックに比し小さくなっている。

入口ノズル部の評価点及び評価ラインをFig. 2. 2. 7 に示す。

各評価点のT T S D S評価に用いる極値2時点での表面に最も近い積分点（要素高さ2 mmの場合で、表面より0. 22mm内部）での応力成分及びMises型相当応力をTable 2. 2. 3に示す。各評価ラインのB D S評価に用いる評価ラインに沿って外挿した応力成分、等価線形応力成分及びピーク温度をTable 2. 2. 4に示す。

なおT T S D S評価及びB D S評価の評価法についての詳細は第3章に示す。



GEOM. SCALE 1 _____ 60.0000

Fig. 2.2.1 Dimension of Inlet Nozzle

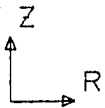
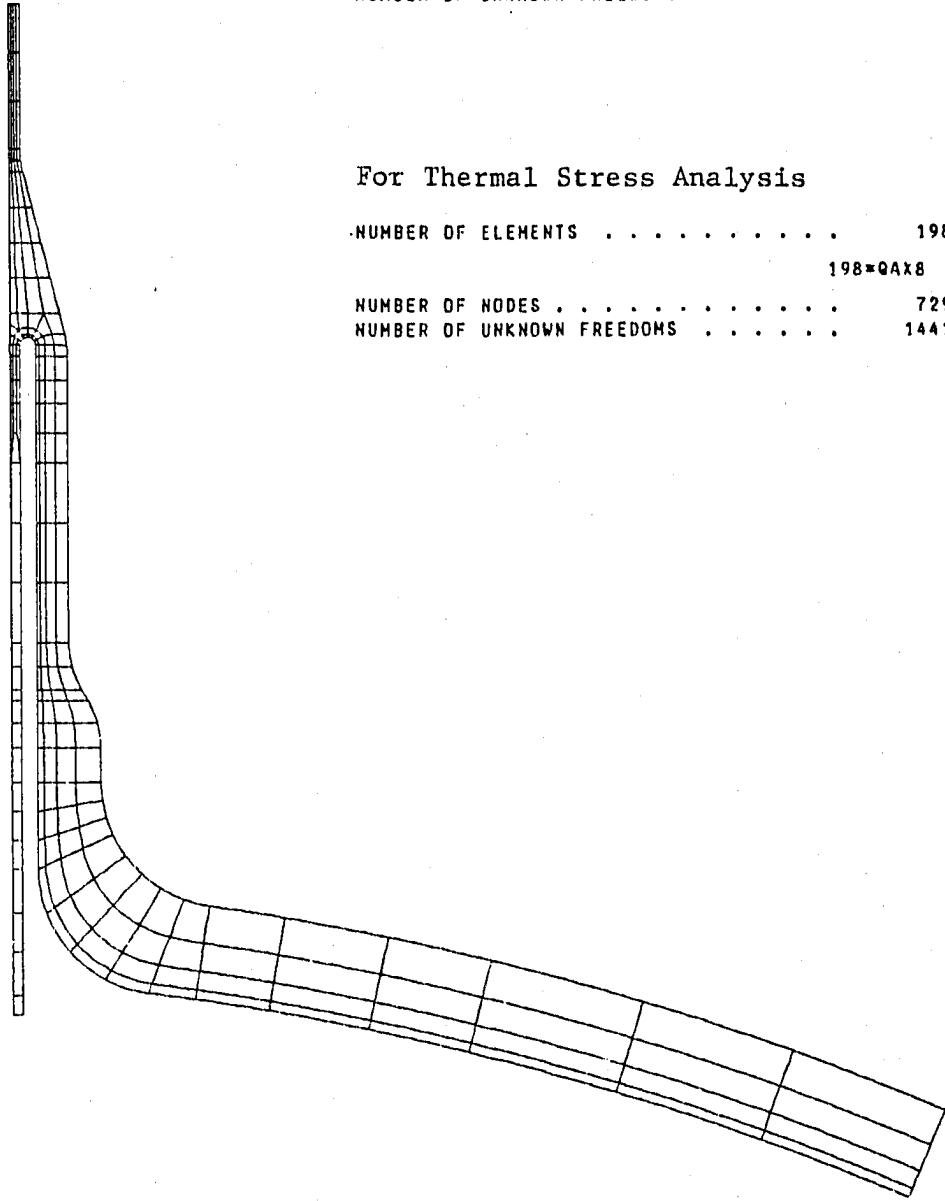
FINAS

For Heat Transfer Analysis

NUMBER OF ELEMENTS 277
(198*HQAX8)
(74*FCAX3)
(5*CALINK6)
NUMBER OF NODES 729
NUMBER OF UNKNOWN FREEDOMS 729

For Thermal Stress Analysis

NUMBER OF ELEMENTS 198
198*QAX8
NUMBER OF NODES 729
NUMBER OF UNKNOWN FREEDOMS 1441

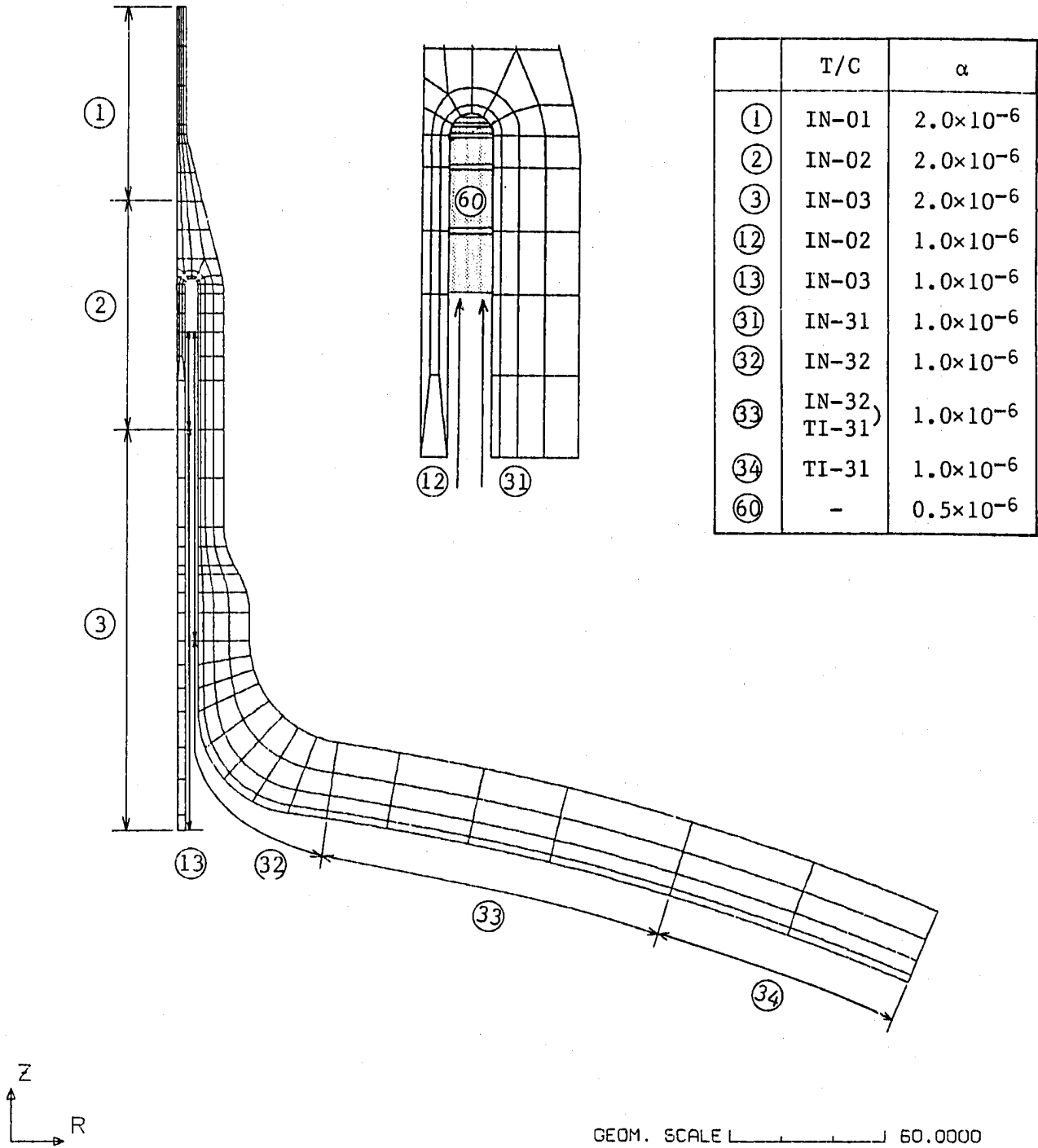


GEOM. SCALE 1 _____ 60.0000

SMTG-1 INLET NOZZEL

Fig. 2.2.2 Finite Element Model of Inlet Nozzle

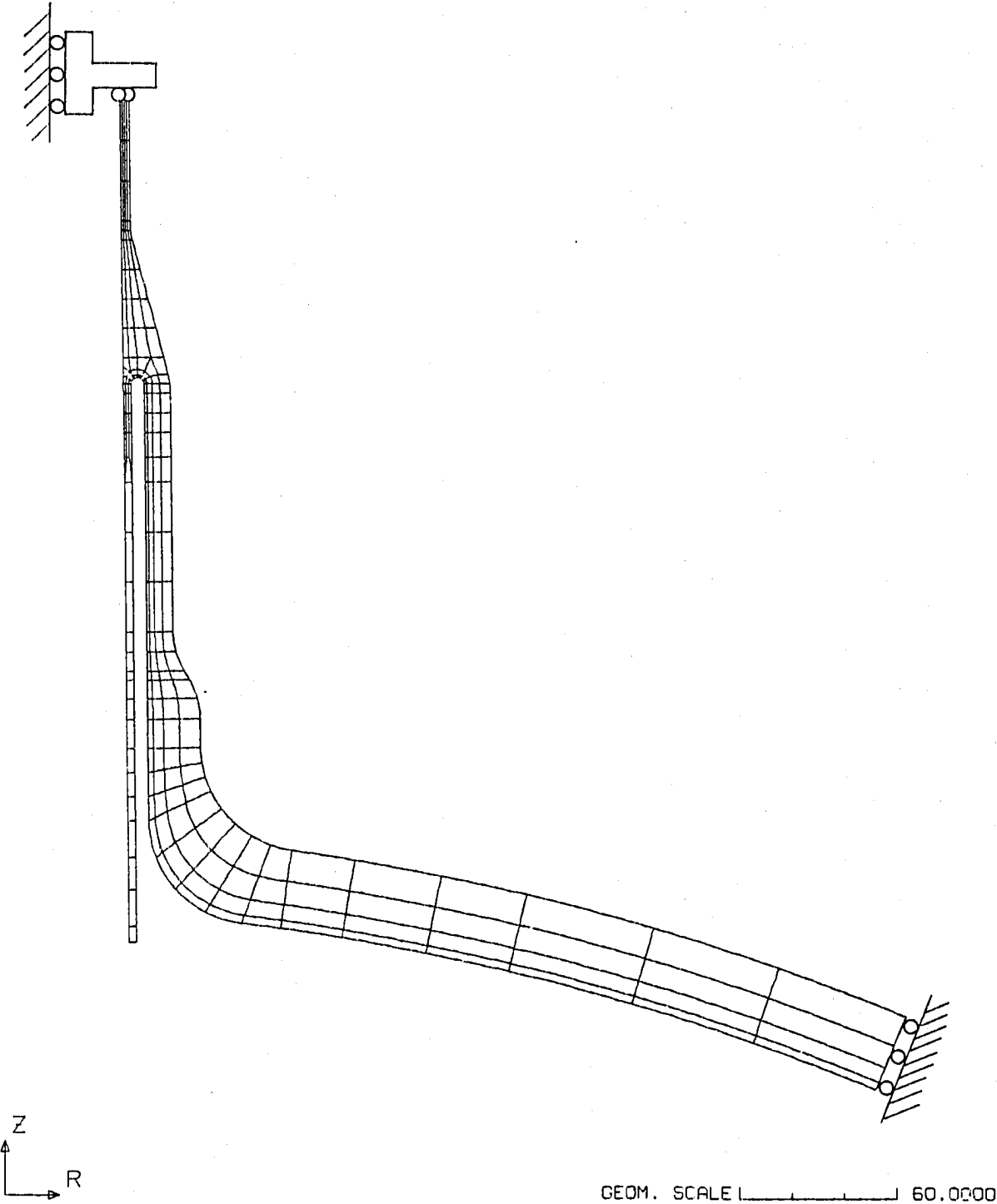
FINAS



SMTG-1 INLET NOZZEL

Fig. 2.2.3 Boundary Condition for Heat Transfer Analysis

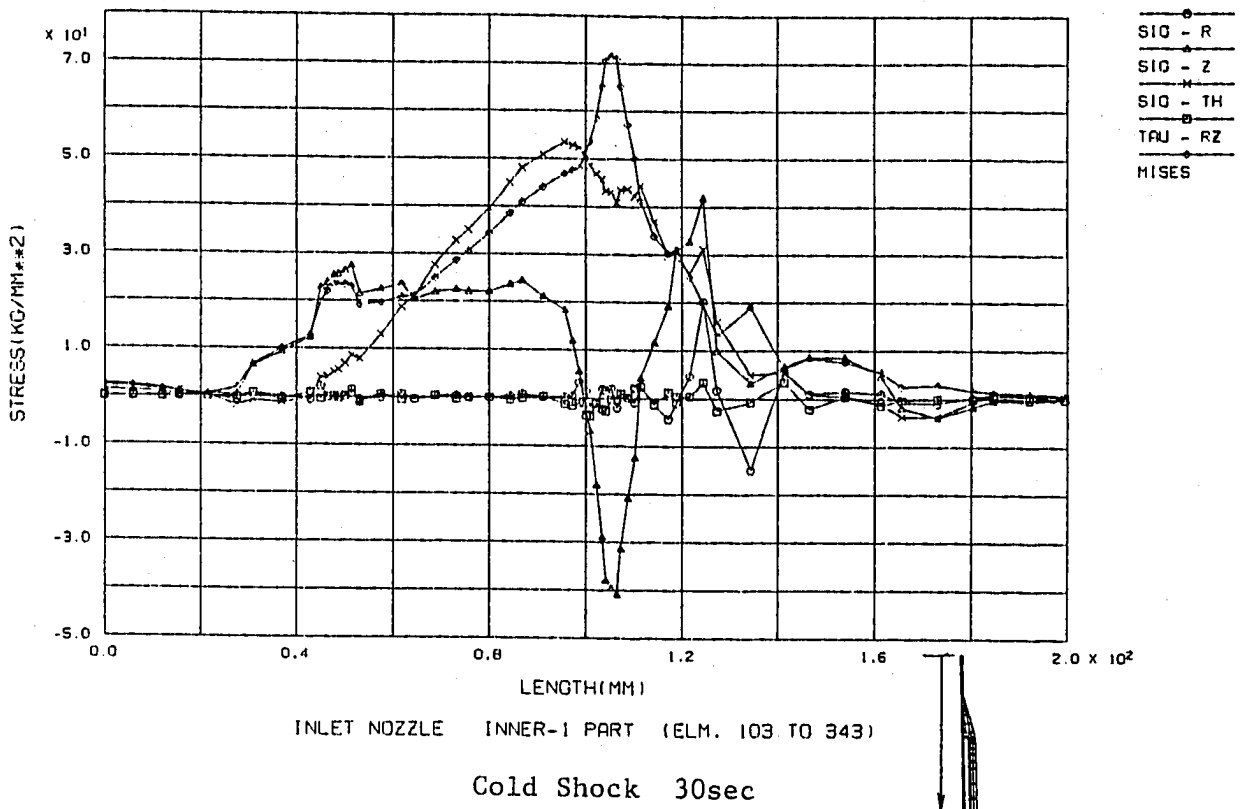
FINAS



SMTG-1 INLET NOZZEL

Fig. 2.2.4 Boundary Condition for Thermal Stress Analysis

FINAS
STEP NO. 2



FINAS
STEP NO. 9

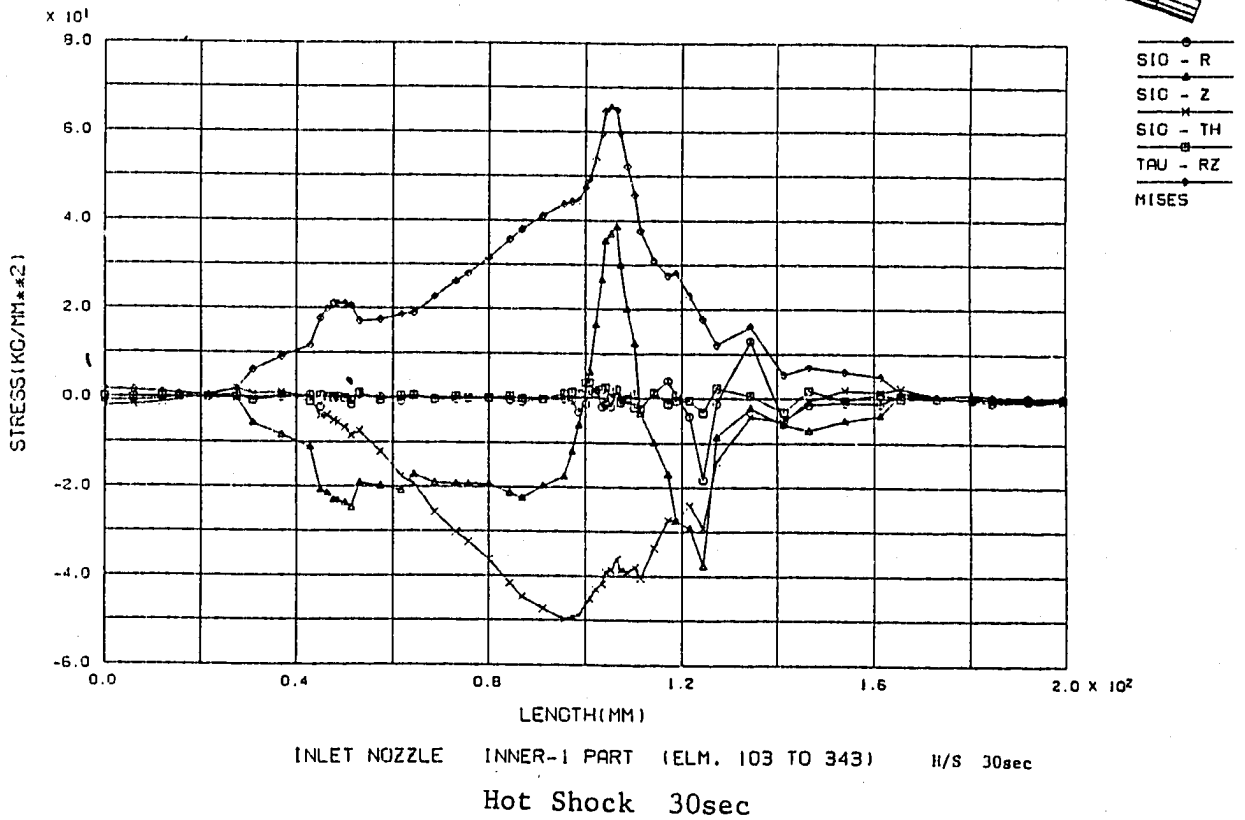
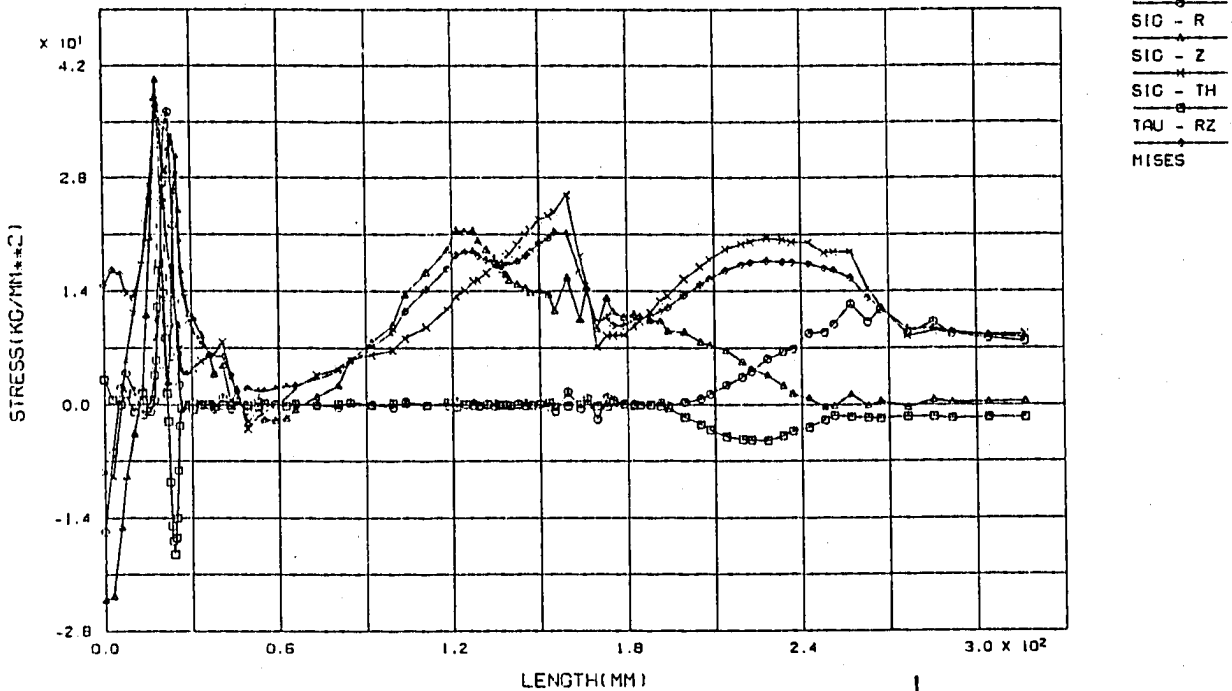


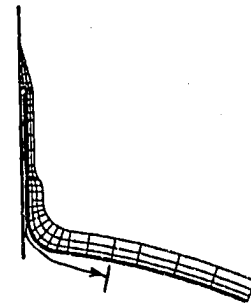
Fig. 2.2.5 Stress Distribution along the Inner Surface 1

FIHIAS
STEP NO. 4

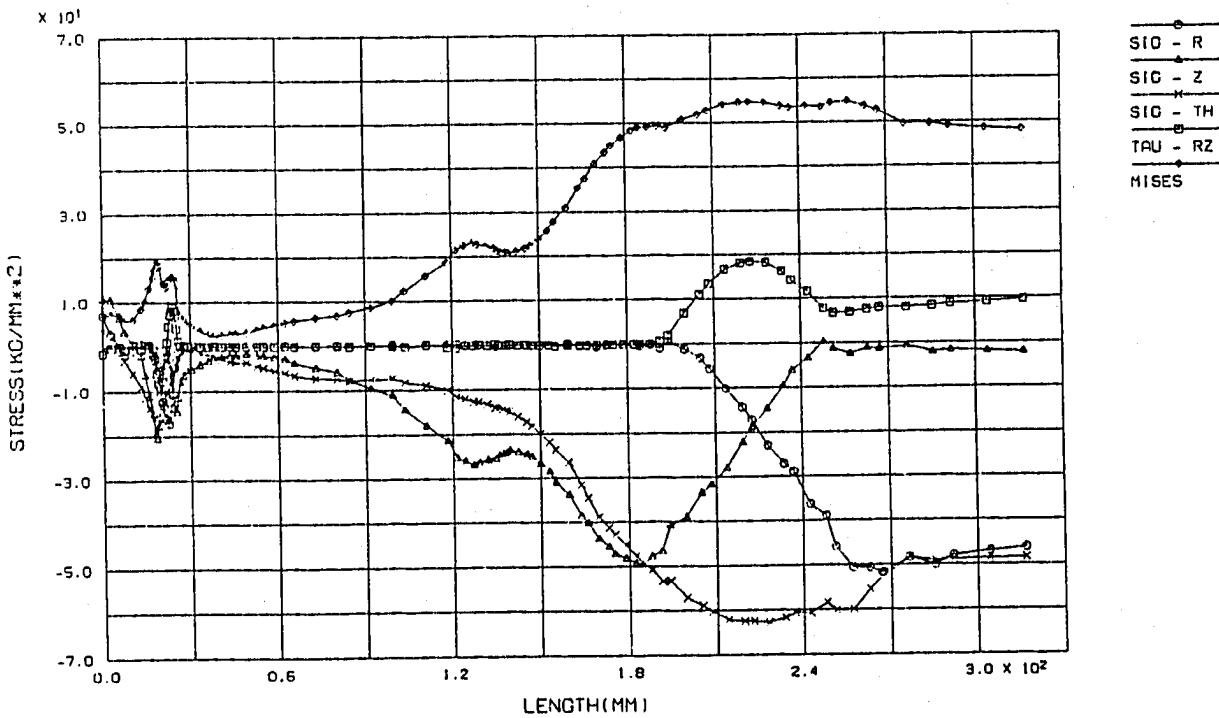


INLET NOZZLE INNER-2 PART (ELM. 265 TO 523)

Cold Shock 50sec



FIHIAS
STEP NO. 14



INLET NOZZLE INNER-2 PART (ELM. 265 TO 523) H/s 80sec

Hot Shock 80sec

Fig. 2.2.6 Stress Distribution along the Inner Surface 2

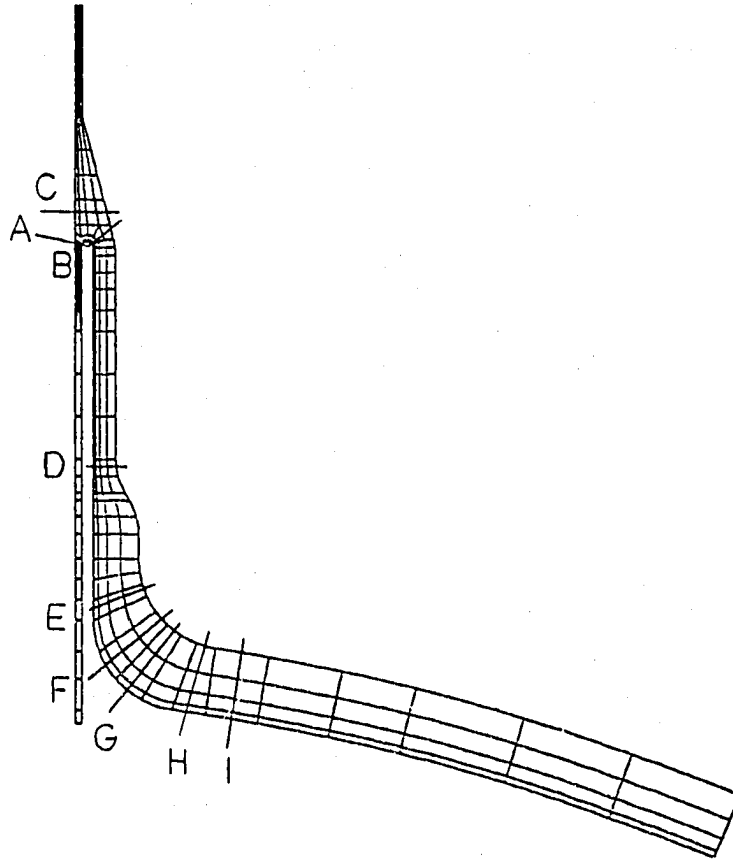


Fig. 2.2.7 Classification Lines for Inlet Nozzle

Table 2.2.1 Heat Transfer Analysis Step of Inlet Nozzle

Total Step	Total Time(sec)	Real Time (sec)	Number of Steps	Total Step	Total Time(sec)	Real Time (sec)	Number of Steps
1	0	Cold	0	38	2400	Hot	0
2	10	Cold	10	39	2410	Hot	10
4	15	Cold	15	41	2415	Hot	15
7	20	Cold	20	43	2420	Hot	20
9	25	Cold	25	45	2425	Hot	25
11	30	Cold	30	47	2430	Hot	30
12	35	Cold	35	49	2440	Hot	40
13	40	Cold	40	51	2450	Hot	50
14	50	Cold	50	53	2460	Hot	60
15	60	Cold	60	54	2470	Hot	70
18	120	Cold	120	55	2480	Hot	80
20	180	Cold	180	56	2490	Hot	90
22	240	Cold	240	57	2520	Hot	120
24	360	Cold	360	58	2550	Hot	150
26	480	Cold	480	59	2580	Hot	180
30	720	Cold	720	60	2640	Hot	240
32	960	Cold	960	61	2700	Hot	300
34	1200	Cold	1200				
36	1800	Cold	1800				
38	2400	Cold	2400				

Table 2.2.2 Thermal Stress Analysis Step of Inlet Nozzle

Step for Stress	Total Time(sec)	Real Time (sec)	Step for Heat Transfer	Step for Stress	Total Time(sec)	Real Time (sec)	Step for Heat Transfer
1	20	Cold 20	7	8	2420	Hot 20	43
2	30	Cold 30	11	9	2430	Hot 30	47
3	40	Cold 40	13	10	2440	Hot 40	49
4	50	Cold 50	14	11	2450	Hot 50	51
5	60	Cold 60	15	12	2460	Hot 60	53
6	80	Cold 80	16	13	2470	Hot 70	54
7	100	Cold 100	17	14	2480	Hot 80	55
				15	2490	Hot 90	56
				16	2520	Hot 120	57

Table 2.2.3 Stress Summary for TTSDS (Inlet Nozzle)

LOC.	STEP	TIME	TEMP	SGR	SGZ	SGTH	TRZ	MISES
IN-A 213	2	C 30	336.7	2.038	-39.588	42.981	-0.180	71.51
	9	H 30	505.6	-1.866	37.000	-38.588	0.219	65.47
IN-B 219	2	C 30	500.1	31.167	30.754	16.502	-25.929	47.18
	9	H 30	349.8	-30.398	-29.882	-17.246	25.343	45.75
IN-C 183	2	C 30	348.9	0.244	21.162	50.808	0.331	44.01
	9	H 30	492.5	-0.261	-19.747	-47.379	-0.276	41.01
IN-D 355	2	C 30	510.3	-0.029	28.724	22.553	0.061	26.22
	11	H 50	425.1	0.043	-30.405	-18.031	-0.089	26.52
IN-E 435	2	C 30	576.5	0.050	13.044	13.890	-0.017	13.44
	13	H 70	489.5	-0.216	-48.016	-52.368	0.036	50.12
IN-F 455	2	C 40	564.6	2.850	7.761	19.316	-4.636	16.70
	14	H 80	517.3	-10.163	-27.888	-62.049	16.712	54.08
IN-G 483	4	C 50	559.9	5.629	3.593	20.514	-4.410	17.73
	14	H 80	518.0	-22.990	-14.650	-62.649	18.257	54.53
IN-H 503	3	C 40	568.0	13.265	1.307	18.569	-1.639	15.58
	14	H 80	507.6	-50.595	-2.438	-59.932	6.933	54.77
IN-I 513	3	C 40	593.2	9.230	-0.313	8.481	-1.561	9.58
	14	H 80	475.8	-48.376	-0.701	-48.369	7.978	49.63

TIME : Time(sec)

TEMP : Temperature(°C)

SGR : σ_r (kg/mm²)SGZ : σ_z (kg/mm²)SGTH : σ_θ (kg/mm²)TRZ : τ_{rz} (kg/mm²)MISES : σ_{Mises} (kg/mm²)

Table 2.2.4 Stress Summary for BDS (Inlet Nozzle)

LINE	Time (sec)	Q (kg/mm ²)				Q + F (kg/mm ²)				Temp (°C)	
		SIG-R	SIG-Z	SIG-TH	TAU-RZ	SIG-R	SIG-Z	SIG-TH	TAU-RZ	DT1	DT2
IN-A	C 30	-1.863	-42.681	41.032	10.266	-1.503	-39.546	43.164	12.357	109.4	4.9
	H 30	1.706	40.776	-36.746	-9.639	1.474	36.875	-38.474	-11.458		
IN-B	C 30	13.855	24.930	8.142	-4.755	9.596	58.956	18.768	-15.305	116.0	7.5
	H 30	-13.493	-23.806	-8.996	4.569	-9.192	-57.361	-19.369	15.012		
IN-C	C 30	0.179	9.526	36.557	-0.634	0.570	23.286	54.032	0.521	373.5	61.4
	H 30	-0.126	-8.485	-35.843	0.358	-0.630	-21.627	-50.052	-0.424		
IN-D	C 30	0.334	24.659	17.880	-0.491	0.010	29.712	23.385	0.071	123.5	20.4
	H 40	-0.288	-27.493	-16.248	0.273	0.006	-31.488	-21.087	-0.064		
IN-E	C 30	1.134	6.996	8.275	2.162	1.974	11.938	14.692	4.653	199.2	35.9
	H 70	-5.261	-35.574	-41.678	-11.396	-6.917	-42.962	-54.156	-16.853		
IN-F	C 40	-0.338	5.946	13.668	1.193	0.507	10.649	20.046	1.943	246.5	37.0
	H 80	1.655	-29.608	-49.985	-5.508	-1.654	-37.821	-63.970	-6.951		
IN-G	C 50	-0.685	5.960	16.190	-0.241	0.160	9.460	21.129	0.225	258.2	35.6
	H 80	3.733	-30.015	-50.771	-0.027	-0.414	-38.595	-64.450	-0.908		
IN-H	C 50	0.258	8.145	12.772	-1.186	1.573	13.978	19.398	-1.558	238.4	45.5
	H 80	0.091	-39.018	-47.219	3.161	-2.730	-52.864	-62.083	6.120		
IN-I	C 50	-0.096	6.766	6.416	-0.323	-0.654	9.805	8.752	-0.020	188.6	30.2
	H 80	-0.067	-38.452	-38.296	0.318	0.636	-51.296	-49.922	0.003		

Q : ホットショックとコールドショックの2次応力強さ成分を局所座標系で表したものである。(kg/mm²)

Q + F : ホットショックとコールドショックの(熱ピーク+2次応力)強さ成分を局所座標系で表したものである。(kg/mm²)

SIG-R : σ_r (kg/mm²), SIG-Z : σ_z (kg/mm²)

SIG-TH : σ_θ (kg/mm²), TAU-RZ : τ_{rz} (kg/mm²)

DT1 : 等価線形温度分布を仮定した内外面温度差(°C)

DT2 : 等価線形温度分布を仮定した温度のピーク成分(°C)

2. 3 出口ノズル

本供試体では出口ノズルとしてタンクに一般に用いられるセットインタイプのノズルを採用している。

2. 3. 1 伝熱解析

下部鏡板から出口配管接合部までを解析モデル化範囲とする。

構造寸法をFig. 2. 3. 1 に示す。

要素分割図をFig. 2. 3. 2 に示す。総要素数は 156, 総節点数は 448である。

熱遮蔽板及び熱遮蔽板と構造材の間のナトリウムをそれぞれSUS304, ナトリウムの物性値でモデル化する。

境界条件をFig. 2. 3. 3 に示す。

熱伝達境界は熱遮蔽板内面を熱伝達境界, 構造材外面を断熱とする。内面の温度変化を入力する。熱伝達条件は, 外面温度の計算結果の時刻歴が試験結果と比較して近くなるように設定した。

解析に使用した熱過渡条件を付録Aに示す。

解析時刻とステップ数との関係をTable 2. 3. 1 に示す。

2. 3. 2 熱応力解析

解析モデルの要素分割は熱伝導解析モデルから熱伝達要素, 熱遮蔽板及びナトリウム部を除いたものである。

要素分割図をFig. 2. 3. 4 に示す。総要素数は 92, 総節点数は 331である。

境界条件をFig. 2. 3. 5 に示す。

両端部の境界の拘束条件は, 下鏡側端部で鏡の半径方向に直交する方向に変位固定, 出口配管側で軸方向一様変位とした。

熱応力解析ステップと熱伝導解析ステップとの対応をTable 2. 3. 2 に示す。

2. 3. 3 伝熱解析結果

出口ノズル部は供試体の下流側にあり, 試験結果の温度データからも熱遮蔽板外面へのナトリウムの流れ込みはみられない。

このため熱遮蔽板及びナトリウムをそれぞれの物性値でモデル化し, 熱遮蔽板内面の温度変化を入力しても外面の温度を合わせることができる。

2. 3. 4 熱応力解析結果

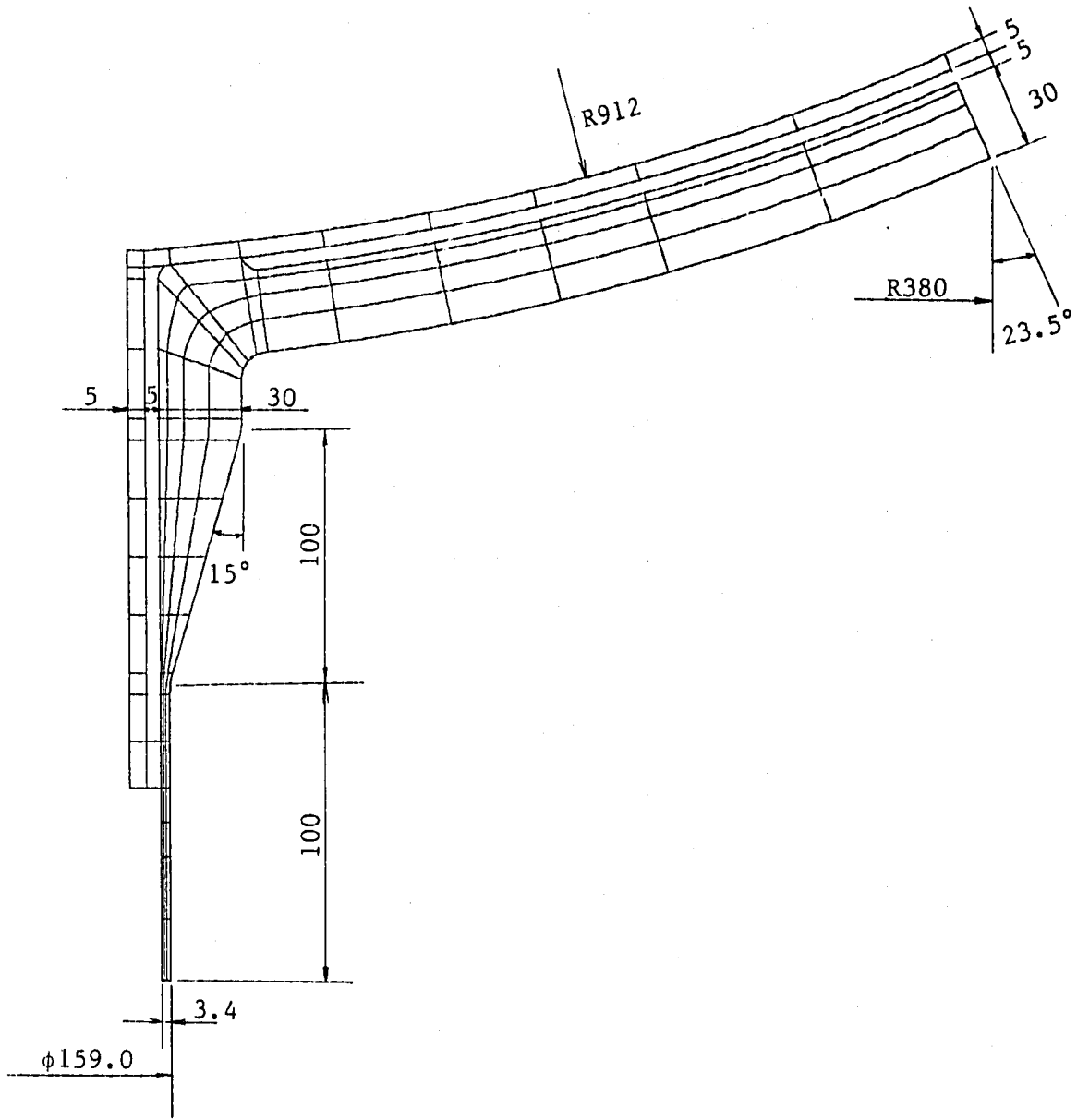
出口ノズル内面の応力分布をFig. 2. 3. 6 に示す。下鏡とノズルの接合部の内面5Rの仕

上げ端部で形状的な応力集中があり、この部分で相当応力が最大となる。またこの部分では長手方向の応力（ここでは半径方向の応力）が周方向応力より大きくなっている。またノズルのクロッチ部で応力は極大値をとるが前記位置の相当応力よりは小さい。

出口ノズル部の評価点及び評価ラインをFig. 2.3.7 に示す。

各評価点のT T S D S評価に用いる応力値及び評価ラインのB D S評価に用いる応力値をTable 2.3.3 , 4 に示す。

FINAS

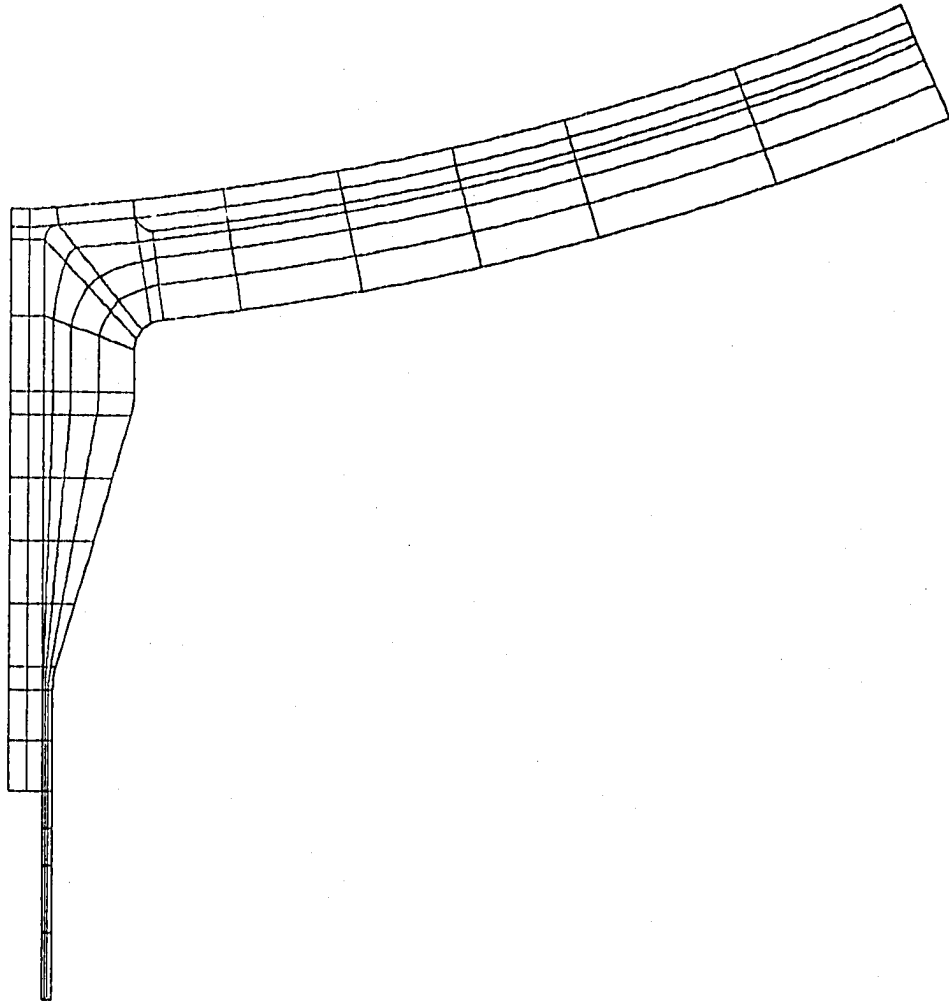


GEOM. SCALE 1 : 60.0000

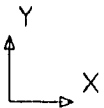
SMTG1 - OUTLET NOZZLE MODEL

Fig. 2.3.1 Dimension of Outlet Nozzle

FINAS



NUMBER OF ELEMENTS	156	(129*HQAX8)
		(0*HTAX6)
		(27*FCAX3)
NUMBER OF NODES	448	
NUMBER OF UNKNOWN FREEDOMS	448	

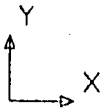
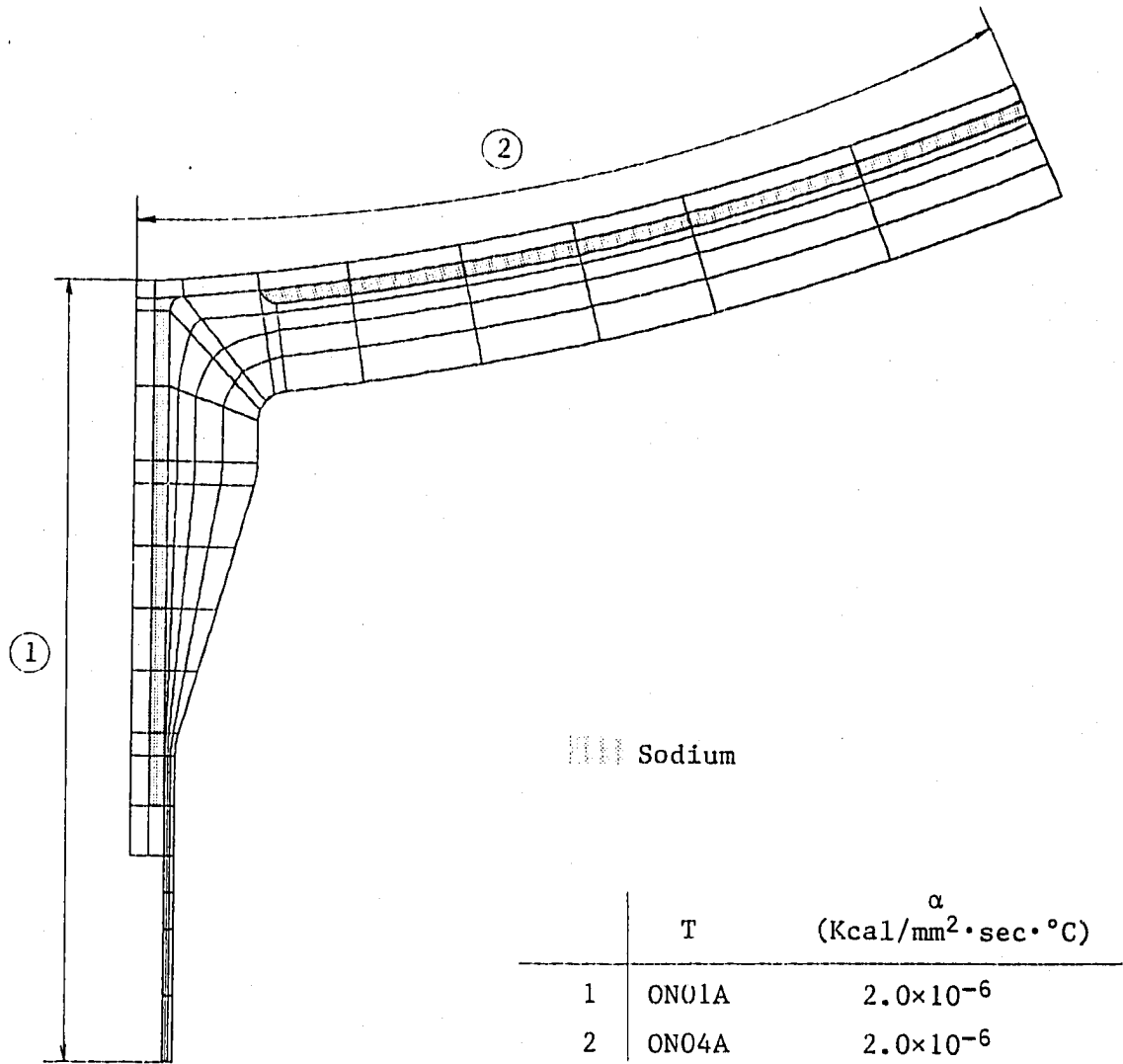


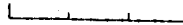
GEOM. SCALE _____ 60.0000

SMTG1 -- OUTLET NOZZLE MODEL

Fig. 2.3.2 Finite Element Model for Heat Transfer Analysis of Outlet Nozzle

FINAS

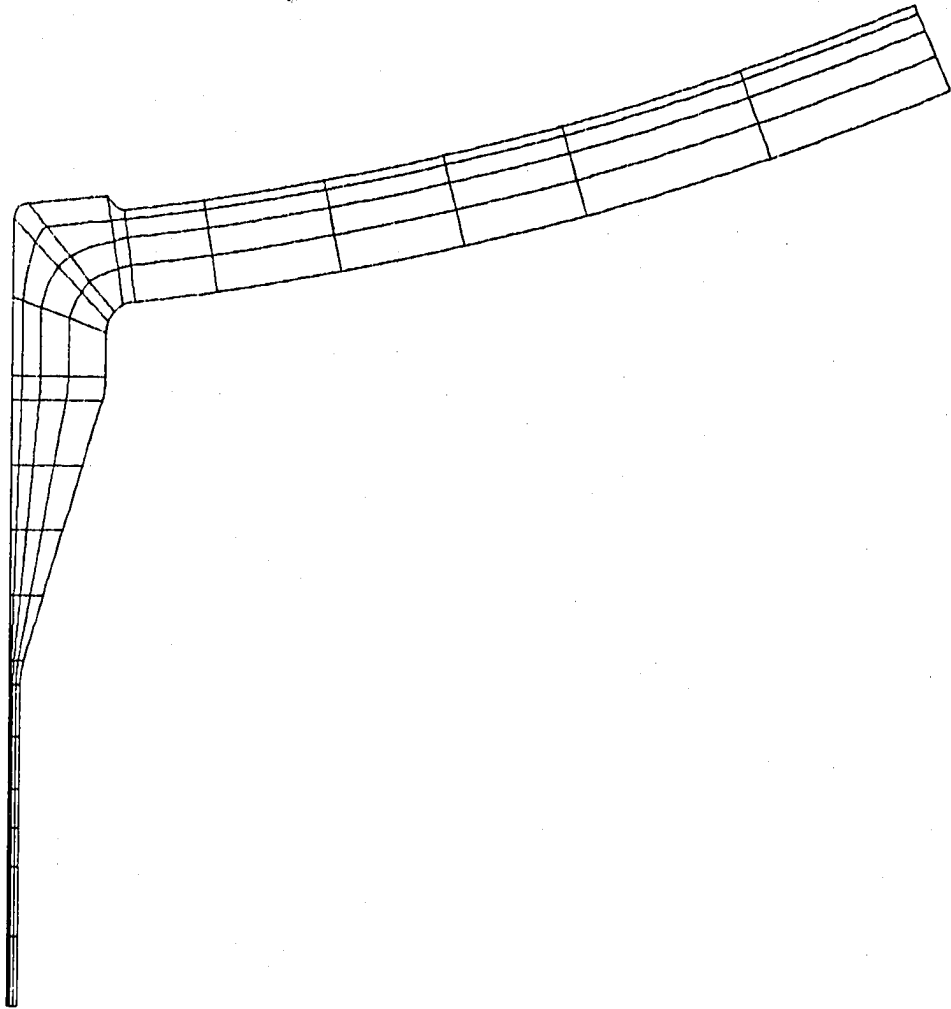


GEOM. SCALE  60.0000

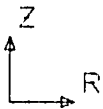
SMTG1 -- OUTLET NOZZLE MODEL


Fig. 2.3.3 Boundary Condition for Heat Transfer Analysis of Outlet Nozzle

FINAS



NUMBER OF ELEMENTS	92	(92*QAX8)
NUMBER OF NODES	331	(0*TAX6)
NUMBER OF UNKNOWN FREEDOMS	653	

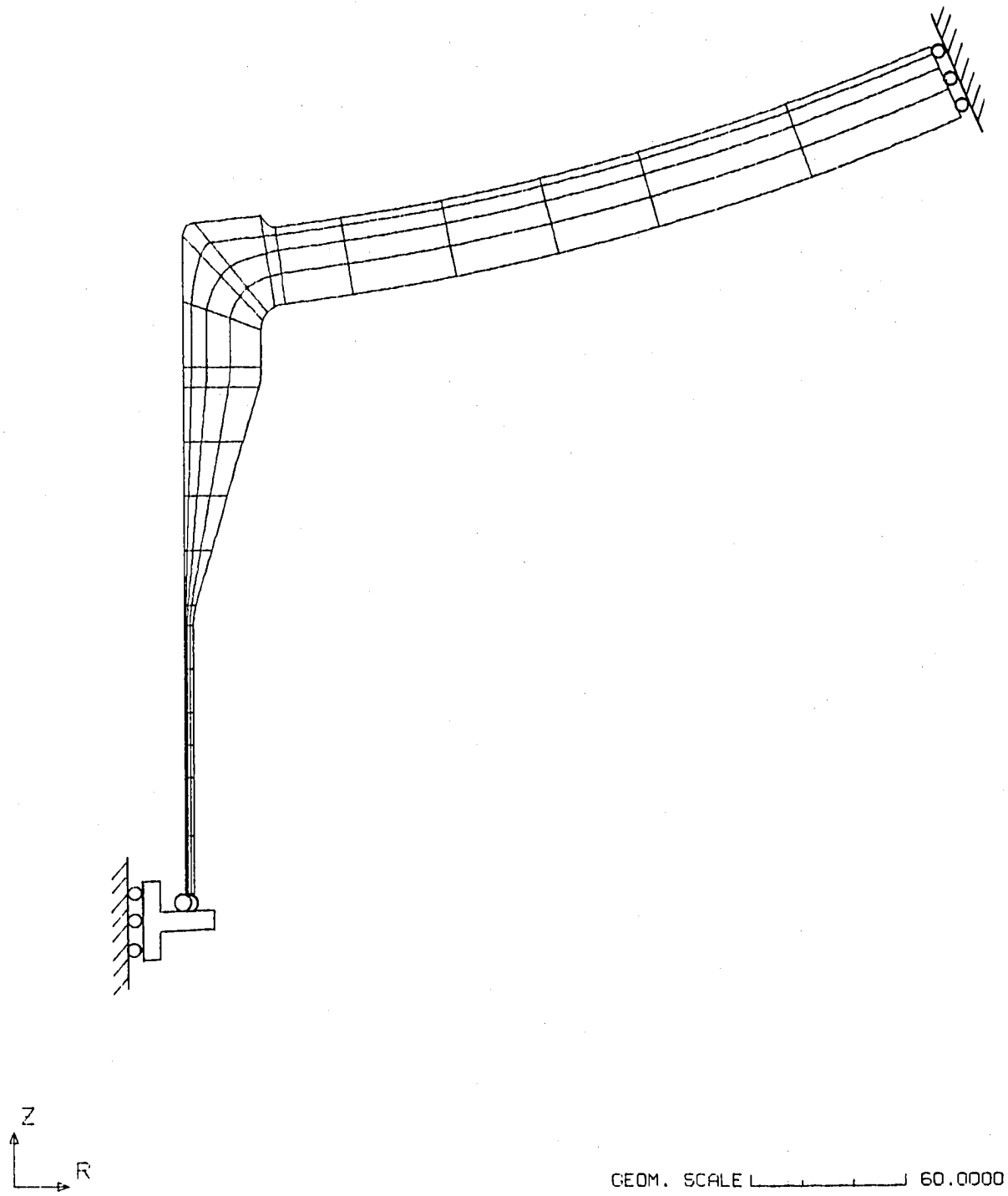


GEOM. SCALE  60.0000

SMTG1 - OUTLET NOZZLE

Fig. 2.3.4 Finite Element Model for Thermal Stress Analysis of Outlet Nozzle

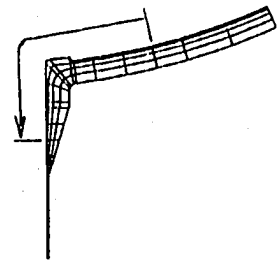
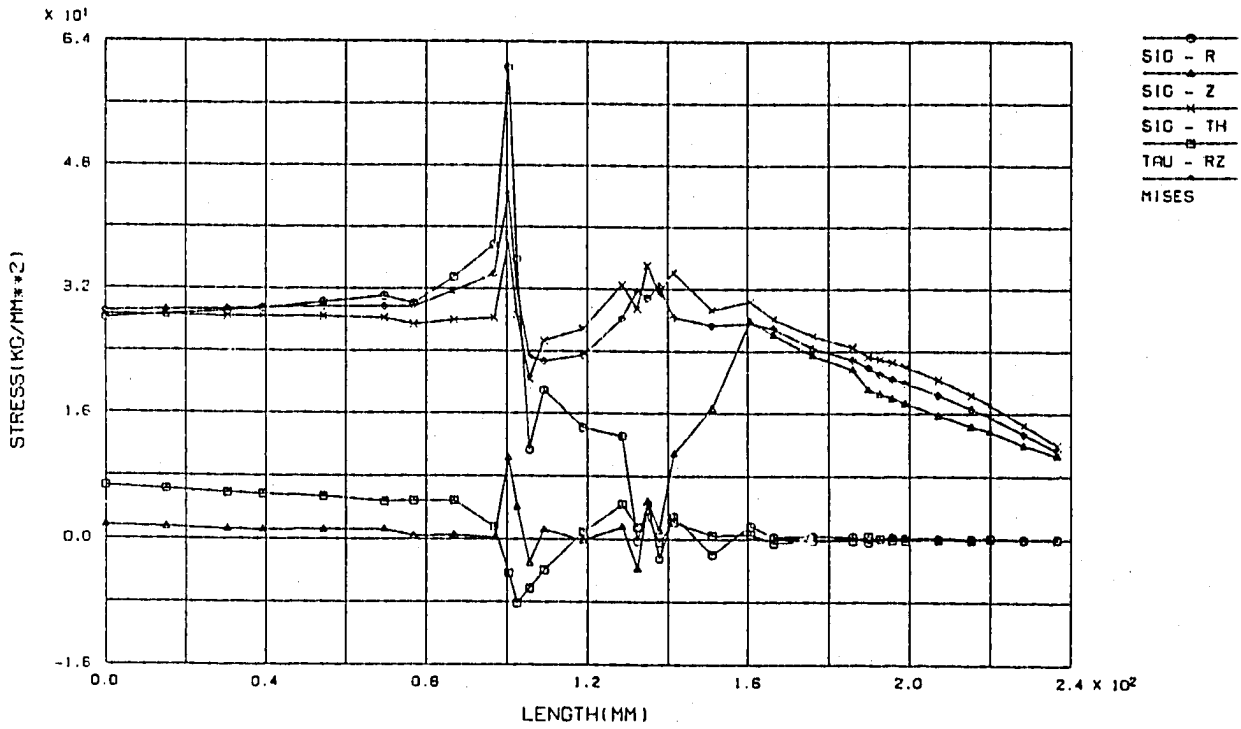
FINAS



SMTG1 - OUTLET NOZZLE

Fig. 2.3.5 Boundary Condition for Thermal Stress Analysis

F111AS
STEP NO. 3



F111AS
STEP NO. 11

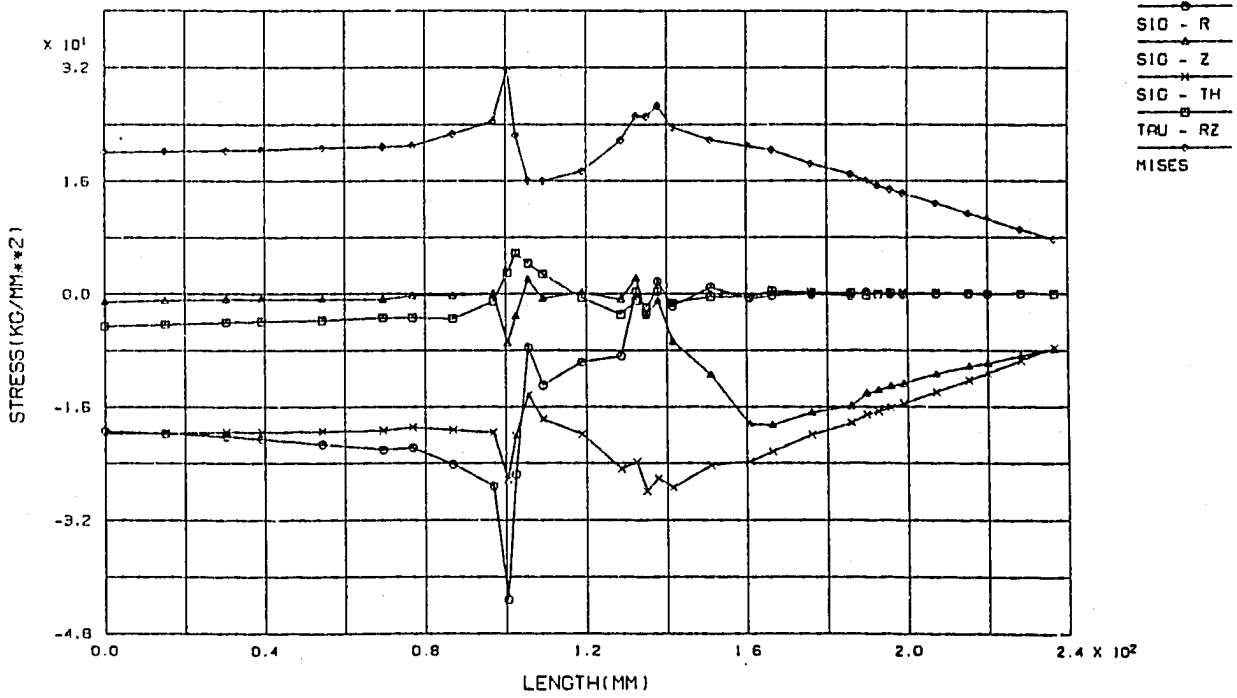


Fig. 2.3.6 Stress Distribution along the Inner Surface

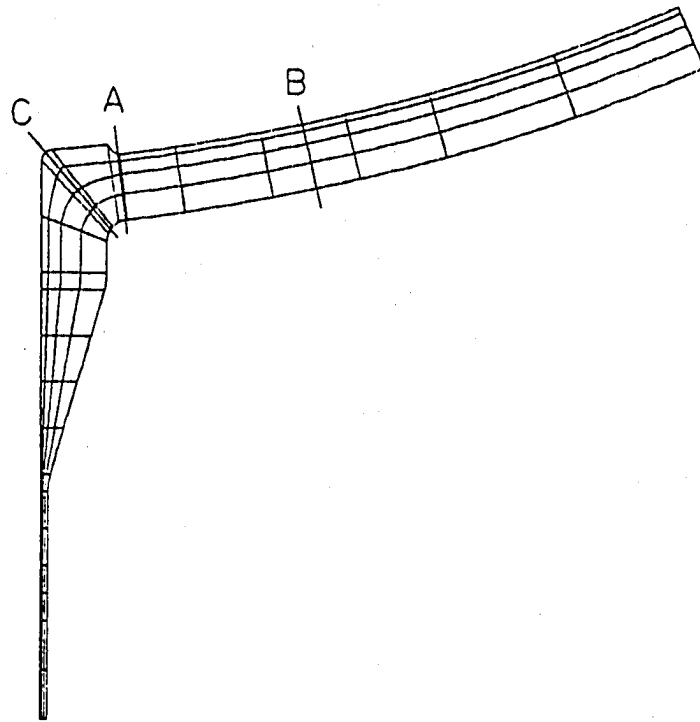


Fig. 2.3.7 Classification Lines for Outlet Nozzle

Table 2.3.1 Heat Transfer Analysis Step of Outlet Nozzle

Total Step	Total Time(sec)	Real Time (sec)	Number of Steps	Total Step	Total Time(sec)	Real Time (sec)	Number of Steps
1	0	Cold 0		33	600	Hot 0	
2	25	Cold 25	1	34	630	Hot 30	1
4	30	Cold 30	2	35	645	Hot 45	1
10	60	Cold 60	6	37	660	Hot 60	2
13	90	Cold 90	3	40	690	Hot 90	3
15	120	Cold 120	2	43	720	Hot 120	3
17	150	Cold 150	2	46	780	Hot 180	3
19	180	Cold 180	2	49	840	Hot 240	3
22	240	Cold 240	3	53	960	Hot 360	4
26	360	Cold 360	4	57	1080	Hot 480	4
30	480	Cold 480	4	59	1200	Hot 600	2
32	600	Cold 600	2				

Table 2.3.2 Thermal Stress Analysis Step of Outlet Nozzle

Step for Stress	Total Time(sec)	Real Time (sec)	Step for Heat Transfer	Step for Stress	Total Time(sec)	Real Time (sec)	Step for Heat Transfer
1	70	Cold 70	11	7	720	Hot 120	43
2	80	Cold 80	12	8	760	Hot 160	45
3	90	Cold 90	13	9	800	Hot 200	47
4	105	Cold 105	14	10	820	Hot 220	48
5	150	Cold 150	17	11	840	Hot 240	49
6	200	Cold 200	20	12	900	Hot 300	51

Table 2.3.3 Stress Summary for TTSDS (Outlet Nozzle)

LOC.	STEP	TIME	TEMP	SGR	SGZ	SGTH	TRZ	MISES
ON-A 1601	3	C 90	503.4	60.596	10.356	37.983	-4.353	44.23
	11	H 240	405.0	-43.194	-7.041	-26.271	2.946	31.74
ON-B 1571	3	C 90	501.6	28.618	1.445	28.524	6.285	29.23
	11	H 240	403.1	-19.777	-0.982	-19.714	-4.344	20.22
ON-C 1621	3	C 90	467.1	4.432	4.824	35.067	2.844	30.84
	11	H 240	434.2	-2.862	-3.152	-27.909	-1.913	25.12

TIME : Time(sec)

TEMP : Temperature(°C)

SGR : σ_r (kg/mm²)SGZ : σ_z (kg/mm²)SGTH : σ_θ (kg/mm²)TRZ : τ_{rz} (kg/mm²)MISES : σ_{Mises} (kg/mm²)

Table 2.3.4 Stress Summary for BDS (Outlet Nozzle)

LINE	Time	Q				Q + F				Temp	
		SIG-R	SIG-Z	SIG-TH	TAU-RZ	SIG-R	SIG-Z	SIG-TH	TAU-RZ	DT1	DT2
ON-A	C 90	4.532	26.898	20.880	1.963	14.250	65.538	41.424	11.238	155.5	30.8
	H 240	-2.988	-19.092	-14.443	-1.265	-9.695	-46.817	-28.671	-7.998		
ON-B	C 90	0.253	22.912	21.430	0.047	0.134	31.108	29.617	0.000	164.7	29.1
	H 240	-0.164	-15.205	-14.234	-0.055	-0.050	-21.568	-20.552	-0.001		
ON-C	C 90	-1.493	12.449	31.260	-0.865	2.203	6.050	36.796	-0.347	239.9	19.8
	H 240	0.709	-8.701	-25.085	0.396	-1.305	-3.916	-29.322	0.328		

Q : ホットショックとコールドショックの2次応力強さ成分を局所座標系で表したものである。(kg/mm²)

Q + F : ホットショックとコールドショックの(熱ピーク+2次応力)強さ成分を局所座標系で表したものである。(kg/mm²)

SIG-R : σ_r (kg/mm²), SIG-Z : σ_z (kg/mm²)

SIG-TH : σ_θ (kg/mm²) : TAU-RZ : τ_{rz} (kg/mm²)

DT1 : 等価線形温度分布を仮定した内外面温度差(°C)

DT2 : 等価線形温度分布を仮定した温度のピーク成分(°C)

2. 4 スカート

本供試体の支持構造としてYピース型の支持構造を採用している。本構造は、中間熱交換器、ポンプオーバーフローコラムのたて型円筒容器に多く用いられる支持構造の一つである。

2. 4. 1 伝熱解析

本部位で考慮すべき荷重は熱過渡である。

温度は計測結果に軸対称性があることより軸対称としてモデル化した。

スカート部の応力は、胴部と脚部の部材間温度差による熱応力が主となることを考慮し、胴部及びフランジを含む脚部をモデル化範囲とした。

構造寸法をFig. 2. 4. 1 に示す。

要素分割図をFig. 2. 4. 2 に示す。総要素数は 1 5 7，総節点数は 4 4 0 である。

境界条件をFig. 2. 4. 3 に示す。

スカート部は、胴部内面でナトリウムの温度変化を受ける。胴部外面及び脚部上部は保温材でおおわれまた脚部下部は大気にさらされている。

そこでナトリウムに接する胴部内面と大気にさらされている脚部下部内外面を温度変化を与える熱伝達境界とし他の面は断熱境界とした。

温度条件として供試体内面に設置した熱電対により計測した温度を多直線近似したものをを用いた。脚部は熱電対位置間を軸方向線形補間したものを与えた。保温材に囲まれた胴部外面及び脚部上部内外面は断熱条件とした。

解析に使用した熱過渡条件を付録Aに示す。

試験サイクルの時間内ではコールドショック開始時にホットの定常状態に、ホットショック開始時にコールドの定常状態には達しないので、繰り返しサイクルを考慮する必要がある。このため、ダミーの熱過渡を1. 5サイクル与え、コールドショック開始時の温度分布に合わせるものとした。

解析時刻と解析ステップとの関係をTable 2. 4. 1 に示す。

0秒から14400秒までの解析はダミーの熱過渡1. 5サイクルであり、14400秒から21600秒までの解析が熱応力解析用の温度分布を求める1サイクルである。

2. 4. 2 熱応力解析

モデルは形状的には熱伝導解析モデルと同一である。

総要素数は 1 2 1，総節点数は 4 4 0 である。

境界条件をFig. 2. 4. 4 に示す。

スカート下部フランジは軸方向固定とし、胴部の上下端は軸方向一様変位とした。解析ステップと熱伝導解析ステップとの対応をTable 2.4.1 に示す。

2. 4. 3 伝熱解析結果

胴部外面と脚部保温材内面の熱電対取り付け位置での、試験での温度変化と解析で得られた温度変化の比較を付録Bに示す。

解析結果は試験結果と比較すると、胴部外面では高めに脚部内面ではやや低めになっているが全体としてはかなり良く一致していると言える。

スカートの脚部の付け根側からフランジ側にかけての長さ方向の温度分布をFig. 2.4.5 に示す。これをみると、コールドショック開始時はフランジ側にかけて単調に減少する形となっているが、ホットショック開始時は途中に極値をもつ分布となっている。

これはコールドショック開始後の低温側保持時間が40分と短いためである。

1 サイクル中の温度変動幅の大きい部分は脚部付け根から近い部分に限られる。

2. 4. 4 熱応力解析結果

スカート部の主な熱応力発生要因は胴部の板厚内温度分布により生じる曲げ、及び胴部と脚部の部材間温度差による曲げである。

スカート胴部内面の長さ方向に沿った応力分布をFig. 2.4.6 に示す。

胴部内面では板厚内温度分布により生じる曲げが主応力要因であるが、胴部と脚部の部材間温度差による曲げも重畳したものとなっている。付け根より上部では周方向応力付け根より下部では軸方向応力成分が大きくなっている。

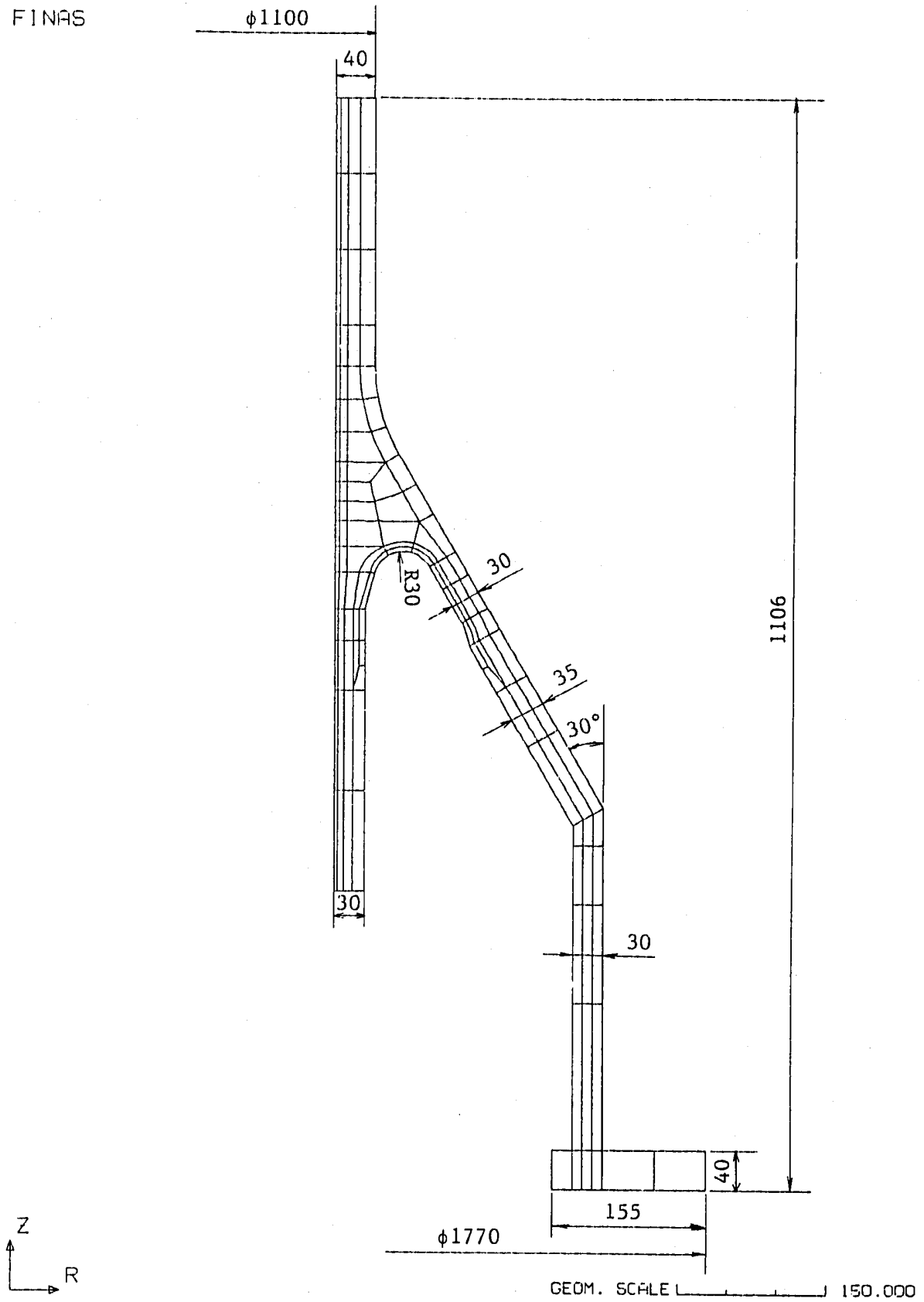
スカート胴部外面から脚部内面に沿った応力分布をFig. 2.4.7 に示す。

脚部内面では板厚内温度分布がほとんど無いため胴部と脚部の部材間温度差による曲げが主応力要因となっている。脚部分岐部のR部で応力が最大となる。

スカート部の評価点及び評価ラインをFig. 2.4.8 に示す。

各評価点のTTSDS評価に用いる応力値及び評価ラインのBDS評価に用いる応力値をTable 2.4.3, 4 に示す。

FINAS



SMTG1 - SKIRT MODEL

Fig. 2.4.1 Dimension of Skirt

FINAS

For Heat Transfer Analysis

NUMBER OF ELEMENTS 157

NUMBER OF NODES 440

NUMBER OF UNKNOWN FREEDOMS 440

(121*HQAX8)

(36*FCAX3)

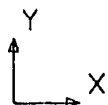
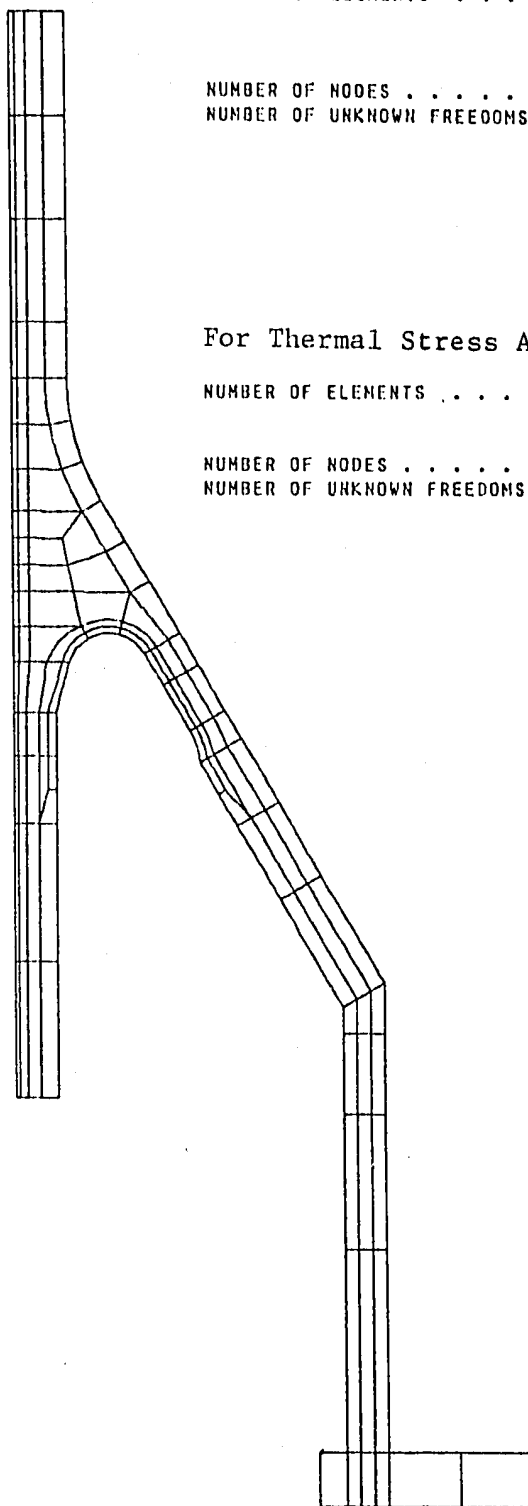
For Thermal Stress Analysis

NUMBER OF ELEMENTS 121

NUMBER OF NODES 440

NUMBER OF UNKNOWN FREEDOMS 859

(121*QAX8)

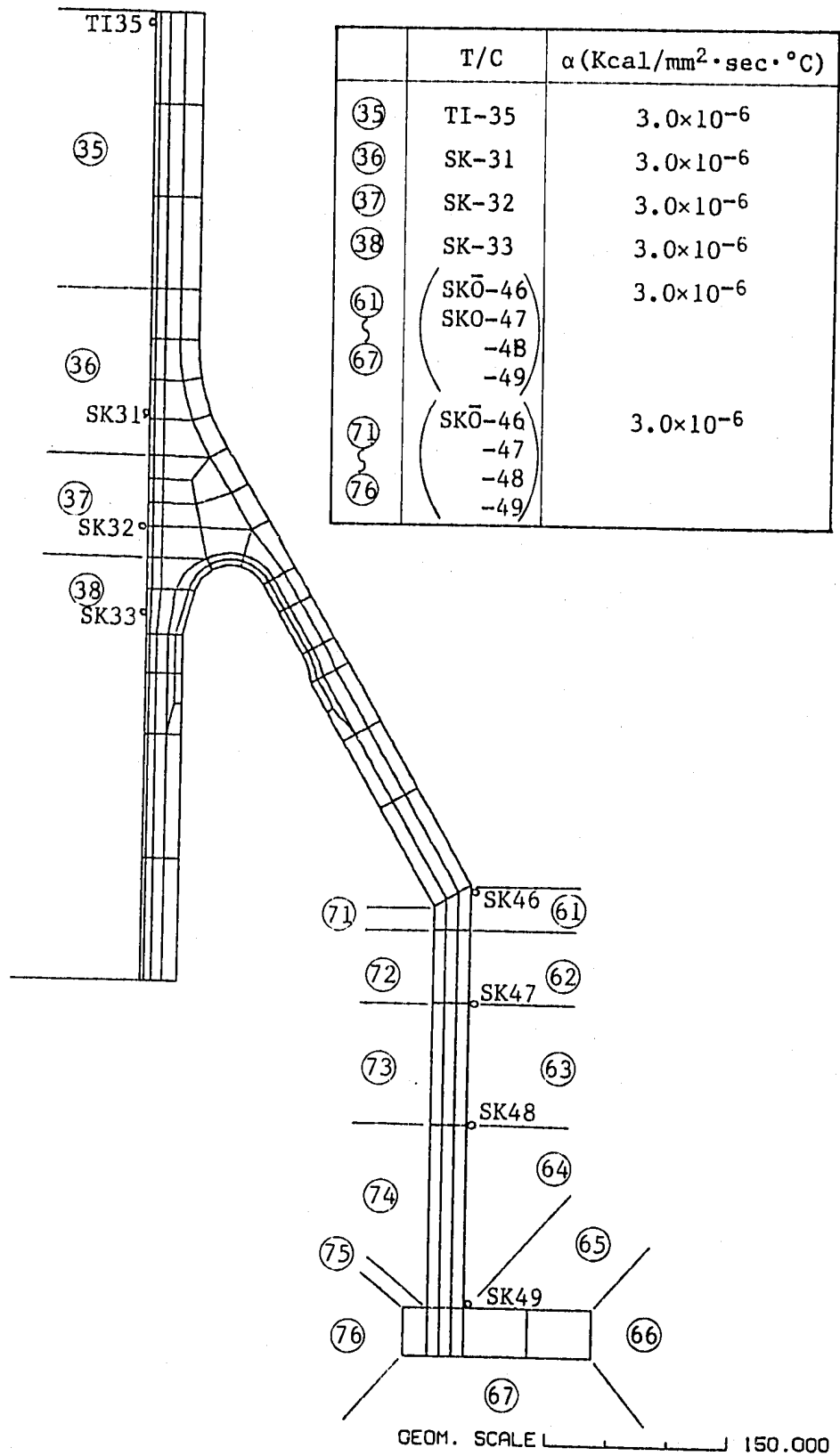


GEOM. SCALE 150.000

SMTG1 - SKIRT MODEL (MESH MOD.)

Fig. 2.4.2 Finite Element Model of Skirt

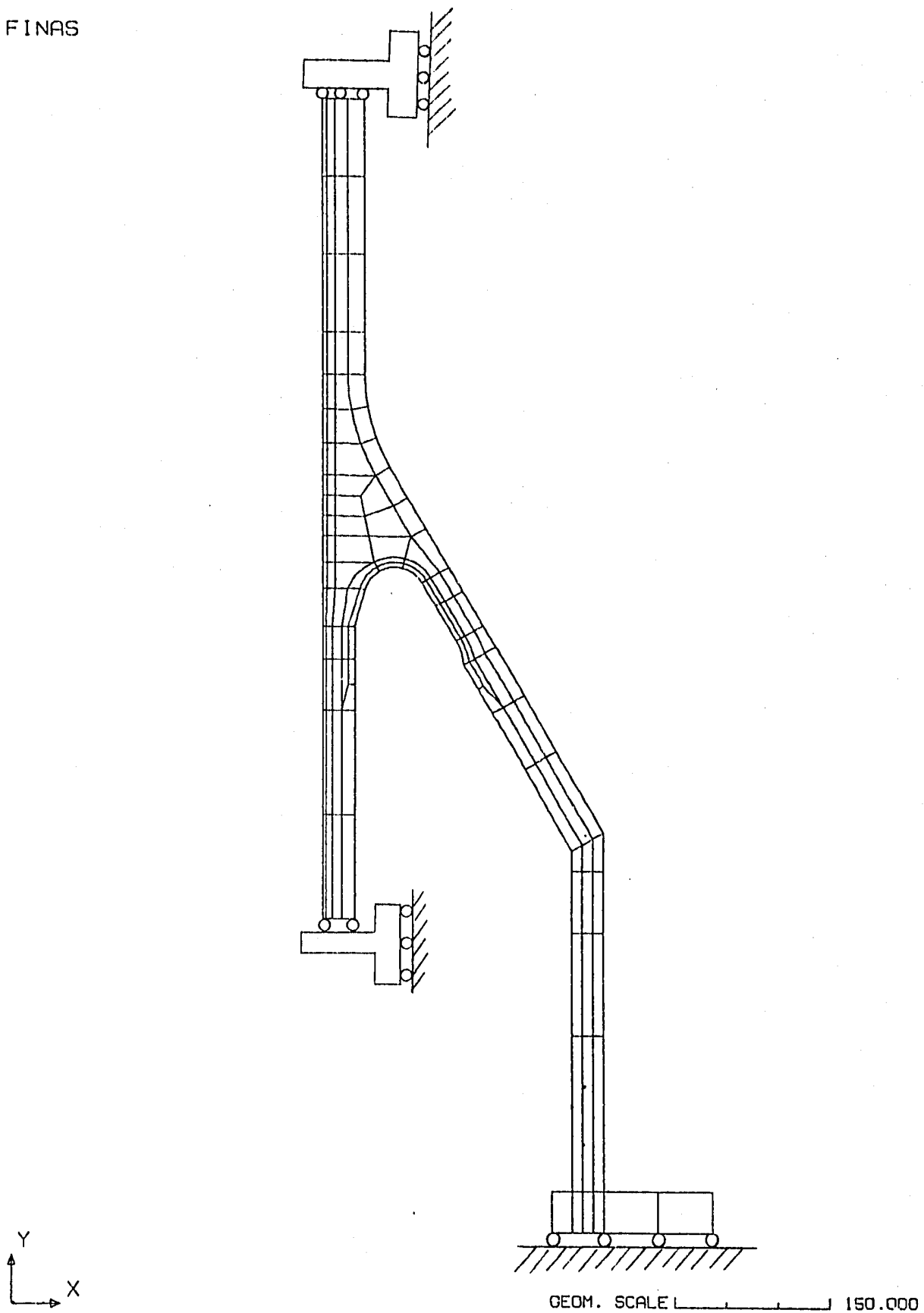
FINAS



SMTG1 - SKIRT MODEL (MESH MOD.)

Fig. 2.4.3 Boundary Condition for Heat Transfer Analysis of Skirt

FINAS



SMTG1 - SKIRT MODEL (MESH MOD.)

Fig. 2.4.4 Boundary Condition for Thermal Stress Analysis of Skirt

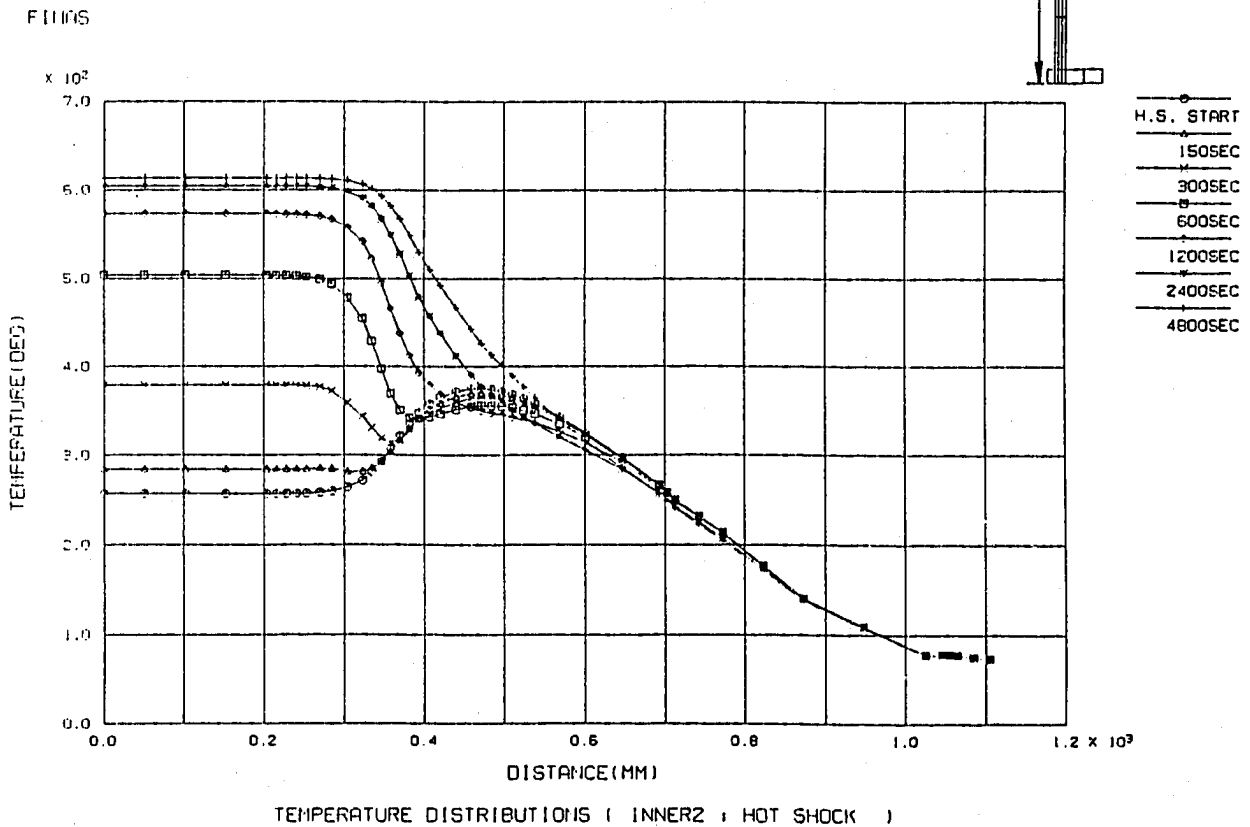
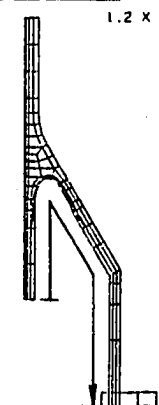
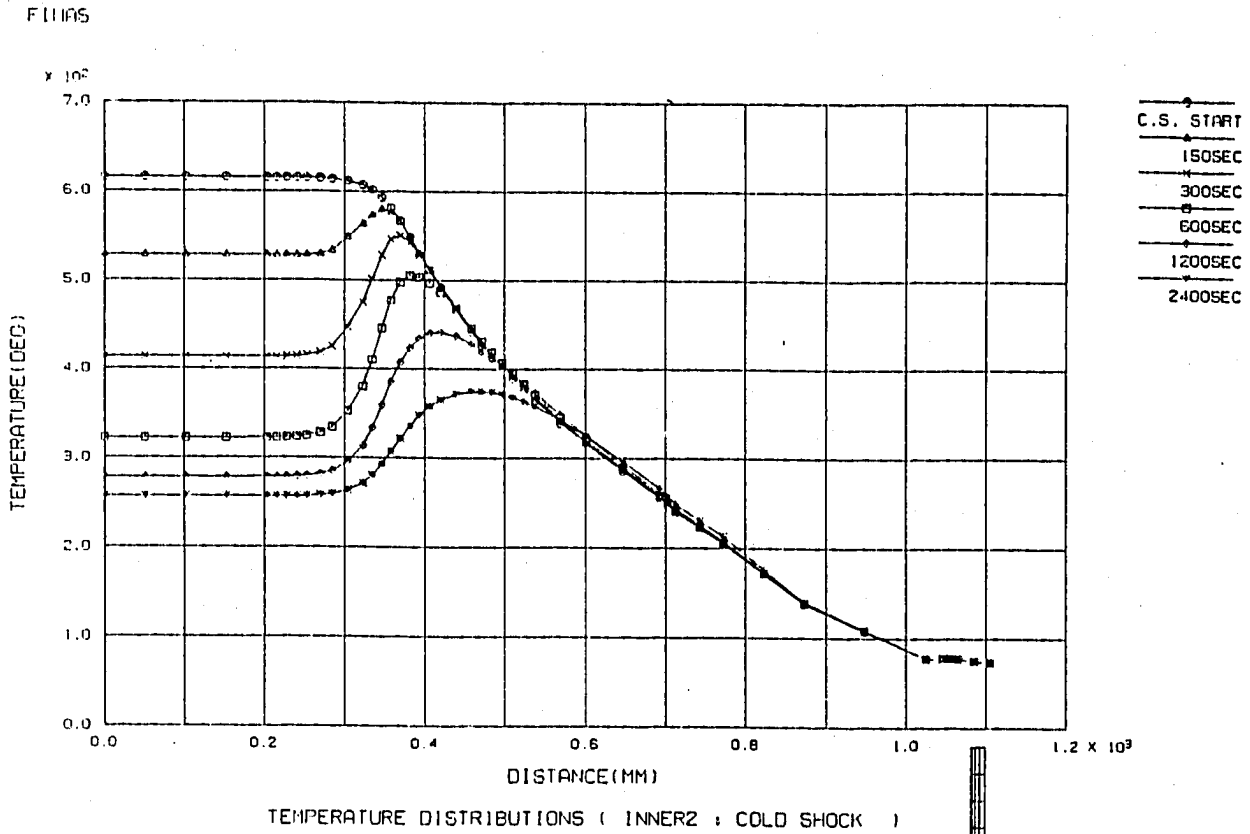
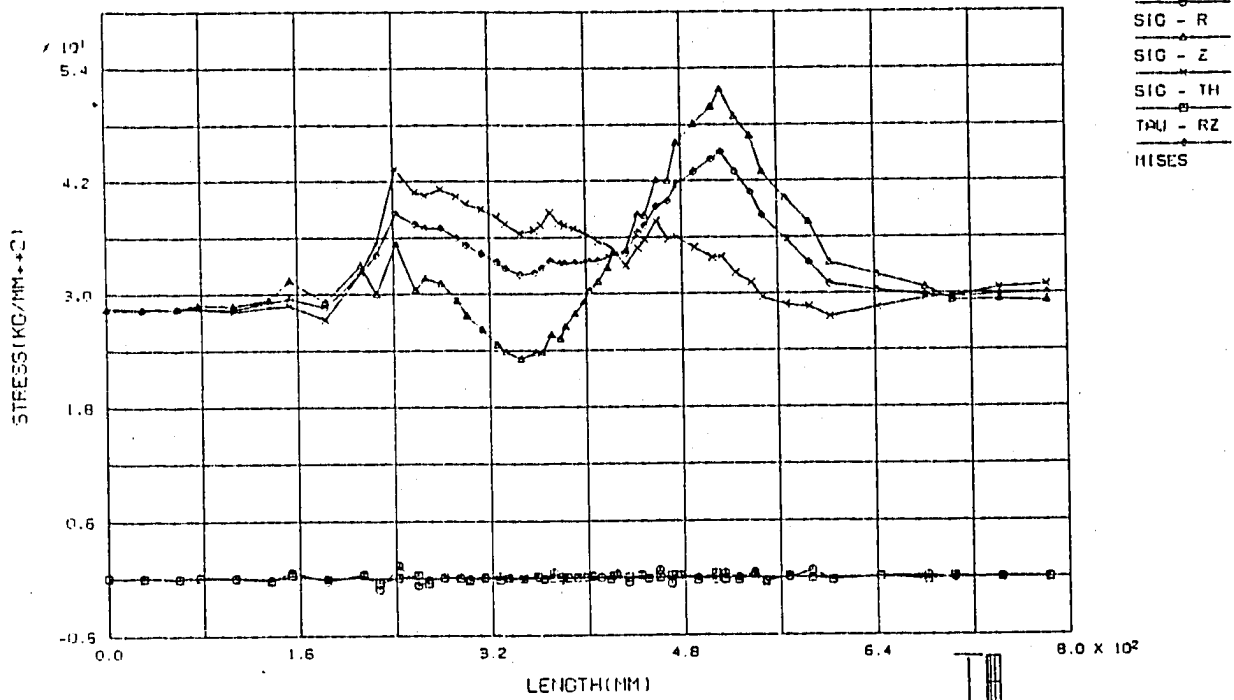


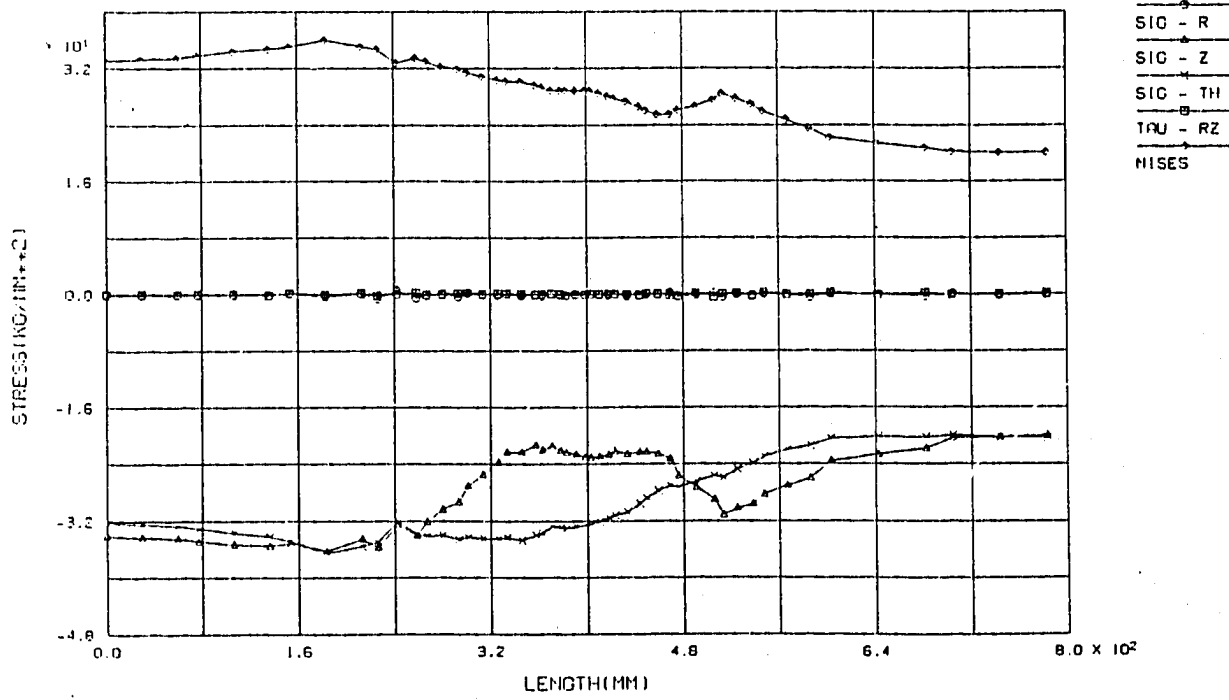
Fig. 2.4.5 Temperature Distributions along the Inner Surface 2

F111RS
STEP NO. 4



SMTG1 - SKIRT INNER-1 (COLD SHOCK 120 SEC)

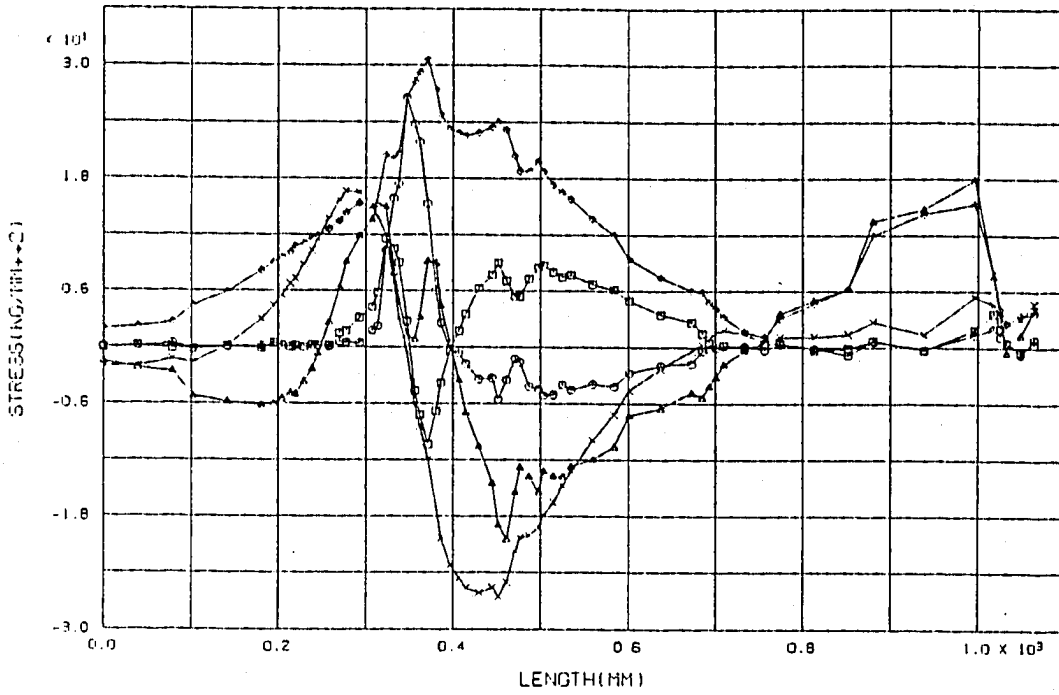
F111RS
STEP NO. 18



SMTG1 - SKIRT INNER-1 (HOT SHOCK 240 SEC)

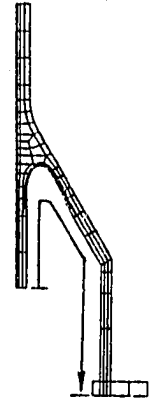
Fig. 2.4.6 Stress Distributions along the Inner Surface 1

FINES
STEP NO. 10

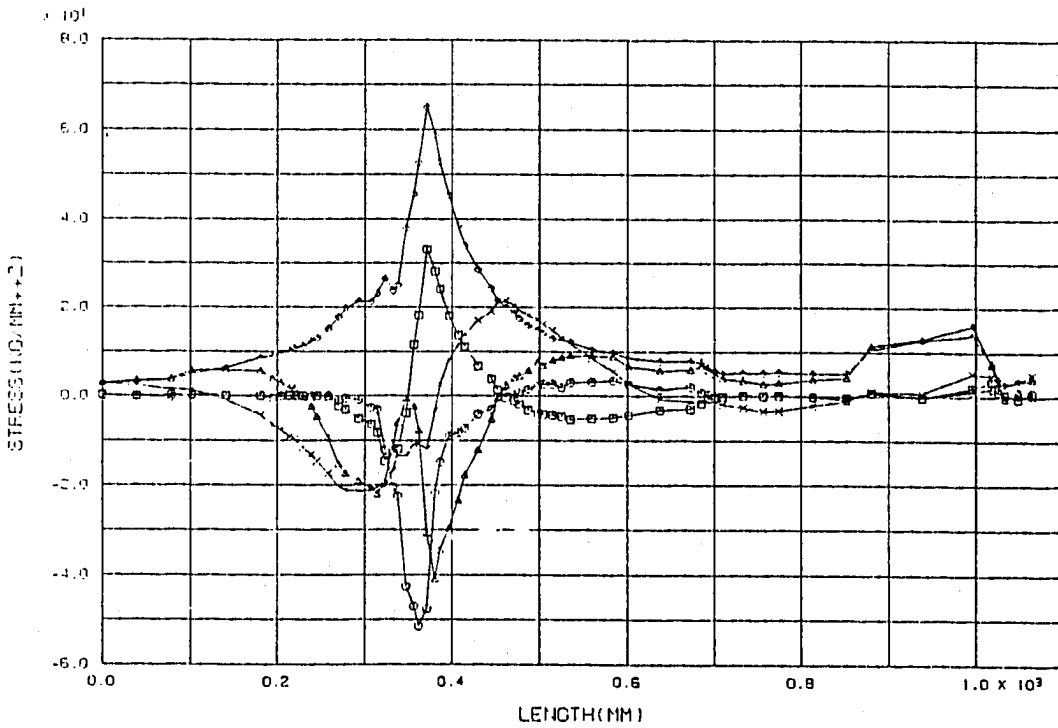


SHTG1 - SKIRT INNER-2 (COLD SHOCK 1500 SEC)

○ SIG - R
△ SIG - Z
□ SIG - TH
× TAU - PZ
— MISES



FINES
STEP NO. 25



SHTG1 - SKIRT INNER-2 (HOT SHOCK 2400 SEC)

○ SIG - R
△ SIG - Z
□ SIG - TH
× TAU - PZ
— MISES

Fig. 2.4.7 Stress Distributions along the Inner Surface 2

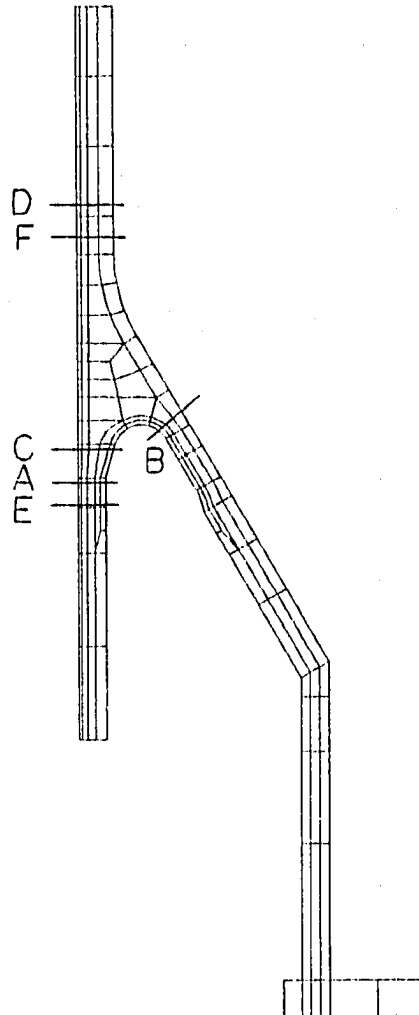


Fig. 2.4.8 Classification Lines for Skirt

Table 2.4.1 Heat Transfer Analysis Step for Skirt

Total Step	Total Time(sec)	Real Time (sec)	Number of Steps	Total Step	Total Time(sec)	Real Time (sec)	Number of Steps
26	14400	Cold 0	1	49	16800	Hot 0	1
27	14420	Cold 20	1	50	16830	Hot 30	2
28	14430	Cold 30	3	52	16860	Hot 60	2
31	14460	Cold 60	3	54	16890	Hot 90	1
34	14490	Cold 90	1	55	16920	Hot 120	2
35	14520	Cold 120	2	57	16980	Hot 180	2
37	14580	Cold 180	2	59	17040	Hot 240	2
39	14640	Cold 240	2	61	17160	Hot 360	2
41	14760	Cold 360	1	63	17280	Hot 480	1
42	14880	Cold 480	1	64	17400	Hot 600	1
43	15000	Cold 600	1	65	17520	Hot 720	1
44	15120	Cold 720	1	66	17760	Hot 960	1
45	15360	Cold 960	1	67	18000	Hot 1200	1
46	15600	Cold 1200	1	68	18300	Hot 1500	1
47	15900	Cold 1500	1	69	18600	Hot 1800	1
48	16200	Cold 1800	1	70	19200	Hot 2400	1
49	16800	Cold 2400	1	71	20400	Hot 3600	1
				72	21600	Hot 4800	1

Table 2.4.2 Thermal Stress Analysis Step for Skirt

Step for Stress	Total Time(sec)	Real Time (sec)	Step for Heat Transfer	Step for Stress	Total Time(sec)	Real Time (sec)	Step for Heat Transfer
1	14400	Cold 0	26	12	16800	Hot 0	49
2	14460	Cold 60	31	13	16890	Hot 90	54
3	14490	Cold 90	34	14	16920	Hot 120	55
4	14520	Cold 120	35	15	16950	Hot 150	56
5	14550	Cold 150	36	16	16980	Hot 180	57
6	14700	Cold 300	40	17	17010	Hot 210	58
7	15000	Cold 600	43	18	17040	Hot 240	59
8	15360	Cold 960	45	19	17100	Hot 300	60
9	15600	Cold 1200	46	20	17400	Hot 600	64
10	15900	Cold 1500	47	21	17760	Hot 960	66
11	16200	Cold 1800	48	22	18000	Hot 1200	67
12	16800	Cold 2400	49	23	18300	Hot 1500	68
				24	18600	Hot 1800	69
				25	19200	Hot 2400	70
				26	20400	Hot 3600	71
				27	21600	Hot 4800	72

Table 2.4.3 Stress Summary for TTSDS (Skirt)

LOC.	STEP	TIME	TEMP	SGR	SGZ	SGTH	TRZ	MISES
SK-A 14017	4	C 120	460.2	0.471	51.760	33.898	-0.164	45.10
	18	H 240	407.4	-0.401	-31.123	-25.869	0.065	28.46
SK-B 1251	10	C 1500	393.8	15.277	9.124	-11.940	-10.369	30.56
	25	H 2400	503.5	-47.615	-30.861	-12.060	33.048	65.01
SK-C 1391	4	C 120	461.6	0.318	46.029	35.966	0.276	41.61
	18	H 240	406.6	-0.379	-25.656	-27.273	-0.260	26.13
SK-D 1151	5	C 150	490.7	0.435	35.615	34.570	0.290	34.67
	19	H 300	455.8	0.092	-34.589	-34.845	0.113	34.81
SK-E 14011	4	C 120	460.1	0.503	46.760	31.149	0.248	40.76
	18	H 240	407.5	-0.250	-29.605	-23.868	-0.195	26.95
SK-F 1161	5	C 150	463.3	1.462	38.414	45.751	0.052	41.11
	19	H 300	442.0	0.597	-33.007	-32.089	-0.005	33.15

TIME : Time(sec)

TEMP : Temperature(°C)

SGR : σ_r (kg/mm²)SGZ : σ_z (kg/mm²)SGTH : σ_θ (kg/mm²)TRZ : τ_{rz} (kg/mm²)MISES : σ_{Mises} (kg/mm²)

Table 2.4.4 Stress Summary for BDS (Skirt)

LINE	Time	Q (kg/mm ²)				Q + F (kg/mm ²)				Temp	
		SIG-R	SIG-Z	SIG-TH	TAU-RZ	SIG-R	SIG-Z	SIG-TH	TAU-RZ	DT1	DT2
SK-A	C 120	0.450	45.122	26.440	0.314	0.573	53.461	35.248	-0.144	174.3	28.3
	H 240	-0.305	-27.403	-21.333	-0.594	-0.546	-32.193	-26.789	0.083		
SK-B	C 1500	2.810	18.606	-12.902	-2.521	1.677	24.249	-11.474	-1.877	-8.4	0.4
	H 2400	-9.447	-62.273	-9.752	0.919	-5.967	-77.386	-13.627	5.152		
SK-C	C 120	0.771	34.103	24.949	1.823	0.432	47.832	37.612	-0.914	208.7	38.8
	H 240	-0.600	-18.206	-20.519	-1.134	-0.558	-26.711	-28.355	0.401		
SK-D	C 150	0.786	27.315	26.463	0.385	0.460	36.932	35.826	0.283	202.7	33.1
	H 300	-0.169	-29.145	-28.675	0.156	0.052	-35.617	-35.855	0.114		
SK-E	C 120	0.469	38.800	23.208	-1.055	0.583	48.320	32.449	0.330	169.3	28.7
	H 240	-0.275	-25.264	-19.144	0.273	-0.367	-30.608	-24.751	-0.224		
SK-F	C 150	0.959	28.495	34.828	0.108	1.817	40.048	47.489	0.045	212.9	36.8
	H 300	-0.016	-27.645	-26.522	0.298	0.750	-33.888	-32.879	-0.029		

Q : ホットショックとコールドショックの2次応力強さ成分を局所座標系で表したものである。(kg/mm²)

Q + F : ホットショックとコールドショックの(熱ピーク+2次応力)強さ成分を局所座標系で表したものである。(kg/mm²)

SIG-R : σ_r (kg/mm²), SIG-Z : σ_z (kg/mm²)

SIG-TH : σ_θ (kg/mm²), TAU-RZ : σ_{rz} (kg/mm²)

DT1 : 等価線形温度分布を仮定した内外面温度差 (°C)

DT2 : 等価線形温度分布を仮定した温度のピーク成分 (°C)

2. 5 内筒溶接部

本供試体には熱過渡条件を厳しくする目的で、流路面積を絞るための中子（内筒）を供試体中央部に設置している。またあわせて内筒には各種の溶接法による熱過渡強度をみるため次の4種類の周方向溶接を導入している。各溶接の内筒における位置をFig. 2.5.1に示す。

M I G	(D 7 0 2 W)
被覆アーク (SMAW)	(D 7 0 3 W)
電子ビーム (EBW)	(D 7 0 4 W)
T I G	(D 7 0 5 W)

内筒は、外径362mm、板厚21.4mmの管に上記の溶接を施して組立たものであり、内側にナトリウムを保有し、内筒外側は板厚1mmの熱遮蔽板を介して主流路と接している。

2. 5. 1 伝熱解析

内筒の各溶接部近傍では、内筒溶接部内面、外面及び熱遮蔽板外面の3点の温度を熱電対で計測している。

温度計測の検討の結果から、内筒外面と内筒外側熱遮蔽板の間のナトリウムはそれぞれの物性値でモデル化可能であるが、内筒内ナトリウムをスタグナントとして取り扱うのは自然対流が生じるので難しいと判断し、内筒内ナトリウムはモデル化せず、解析上のモデル化範囲は溶接部及び熱遮蔽板とした。また特に溶接形状を特に模擬しない平滑円筒モデルとした。

構造寸法をFig. 2.5.2に示す。総要素数は8、総節点数は43である。

熱伝導解析用の境界条件をFig. 2.5.3に示す。

境界条件は、内筒溶接部内面及び熱遮蔽板外面を熱伝達境界とし、試験で得られた内筒溶接部内面及び熱遮蔽板外面の温度変化を多直線近似した熱過渡条件を与えた。

解析モデルは4種の溶接部に共通である。

解析は各溶接部が受ける熱過渡に対してそれぞれ実施した。

解析に使用した熱過渡条件を付録Aに示す。

解析時刻とステップ数の関係をTable 2.5.1に示す。

コールドショック開始時にはホットの定常状態に達し、ホットショック開始時にはコールドの定常状態に達しているため、コールドショック、ホットショックそれぞれ熱過渡開始後300秒までを解析対象時間とした。

2. 5. 2 熱応力解析

内筒溶接部の熱応力は、主として板厚内温度分布によるものであるため、熱応力解析の時点は、内外面の温度差が最大となる時点を中心としその前後の時点を選定した。

モデルは形状的には熱伝導解析用モデルから熱伝達要素を除いたものと同一である。

総要素数は 6, 総節点数は 33 である。

熱応力解析用の境界条件をFig. 2.5.4 に示す。

端部の境界条件については、管との接続を考え下端を軸方向変位固定、上端を軸方向変位一定（軸方向ファスニング）とした。

解析ステップと温度ステップとの対応をTable 2.5.2 に示す。

2. 5. 3 伝熱解析結果

外面に温度変化と熱伝達を与え内面での温度変化が試験データと合うように熱伝達率を調整するという他の部位で用いている方法は、内面にも熱伝達があるため使えない。外面だけでなく内面も温度入力としている。

基本的には内筒外部から内部に熱が伝わるのを模擬できるようモデル化するものとした。具体的には、外面に温度変化と熱伝達を与えるものとし、外面の温度変化は温度計測結果を用い、外面の熱伝達率は他の部位の熱伝達率を参照して設定した。一方、内面にも温度変化と熱伝達を与えるものとし、内面の温度変化は温度計測結果を用い、内面の熱伝達率は、最内面の節点温度変化が内部の節点の温度変化より変化速度が速くならないように、また表面でピークがでないように設定した。

熱伝導解析の結果、上記条件を満たしていることを確認した。

これらの解析結果は付録BのB.14 とB.15 頁に示した。

2. 5. 4 熱応力解析結果

解析は平滑円筒モデルで行っており、溶接部の応力は板厚方向温度分布に対応したのとなっている。

ここで、解析結果の整理上各溶接部を次のように呼ぶこととする。

M I G	・・・ I W - A
被覆アーク (SMAW)	・・・ I W - B
電子ビーム (EBW)	・・・ I W - C
T I G	・・・ I W - D

内筒溶接部の評価点及び評価ラインをFig. 2.5.5 に示す。

各評価点の T T S D S 評価に用いる応力値及び評価ラインの B D S 評価に用いる応力値をTable 2.5.3 , 4 に示す。

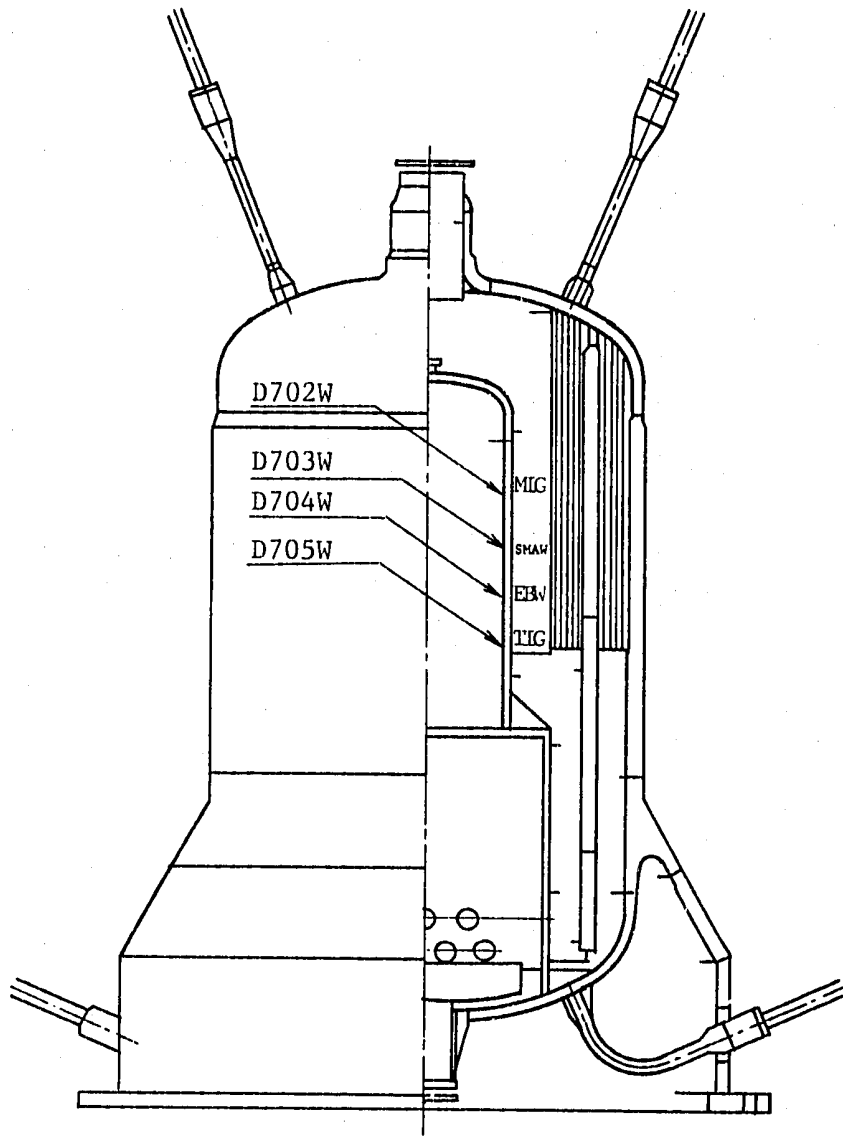


Fig. 2.5.1 Inner Shell Weldment Position

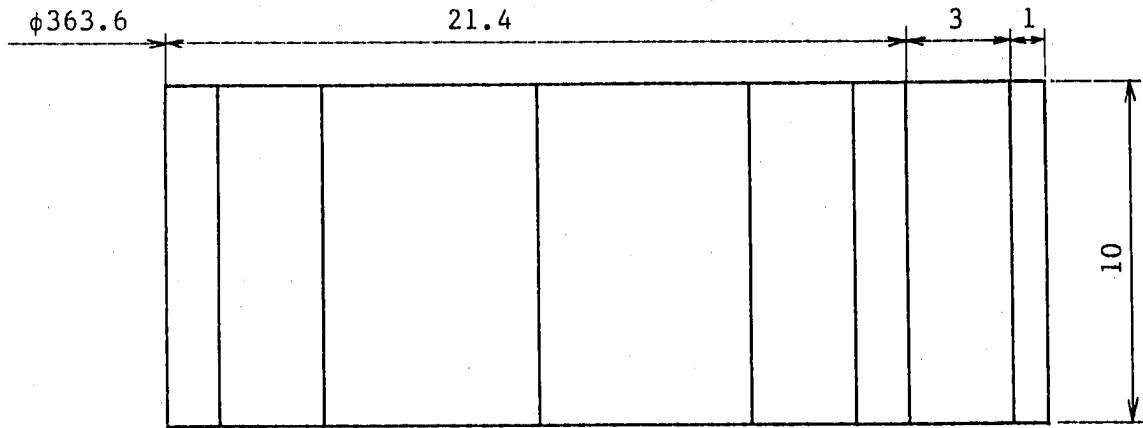


Fig. 2.5.2 Dimension of Inner Shell Weldment

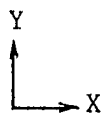
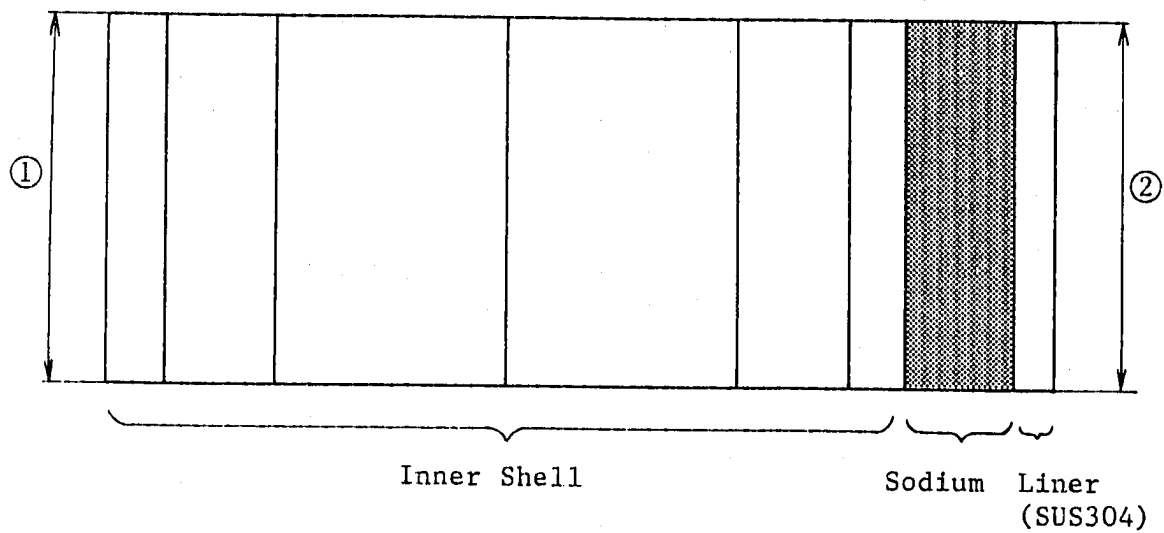


Fig. 2.5.3 Boundary Condition for Heat Transfer Analysis

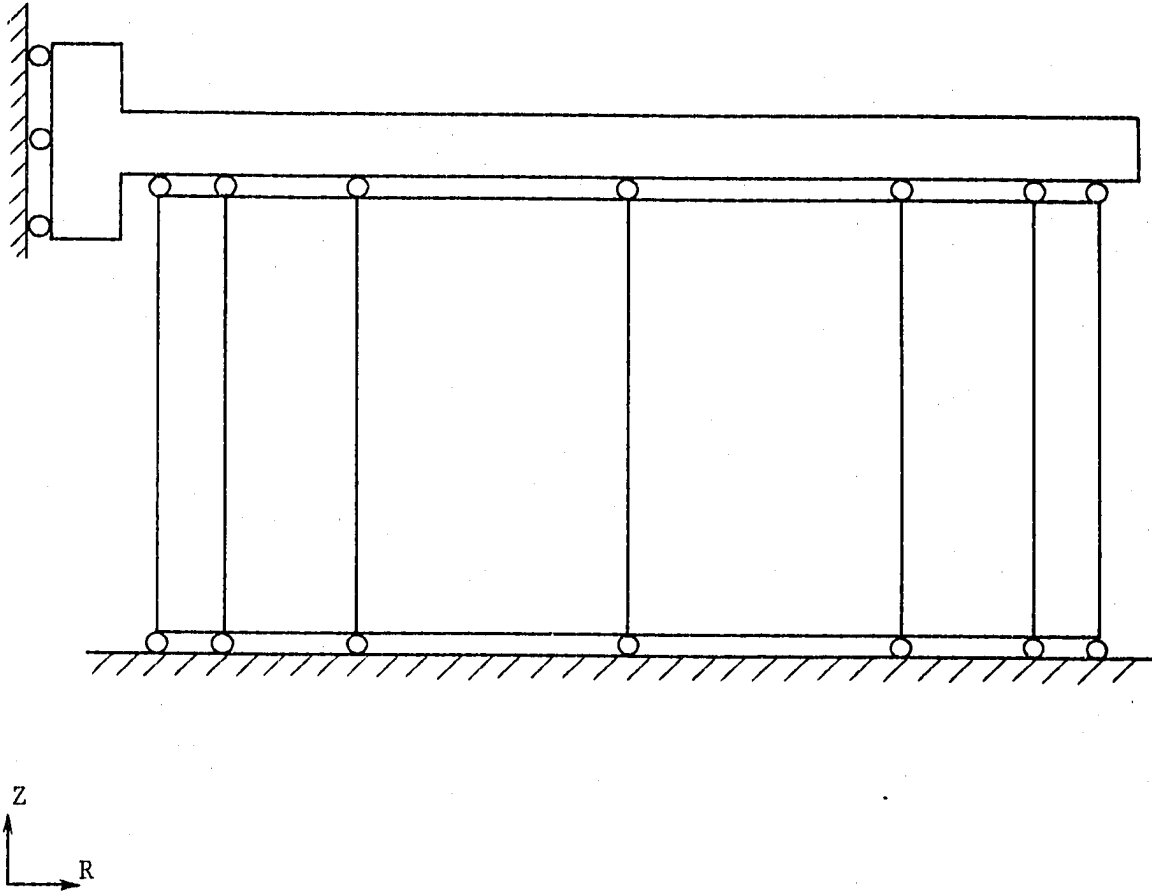


Fig. 2.5.4 Boundary Condition for Thermal Stress Analysis

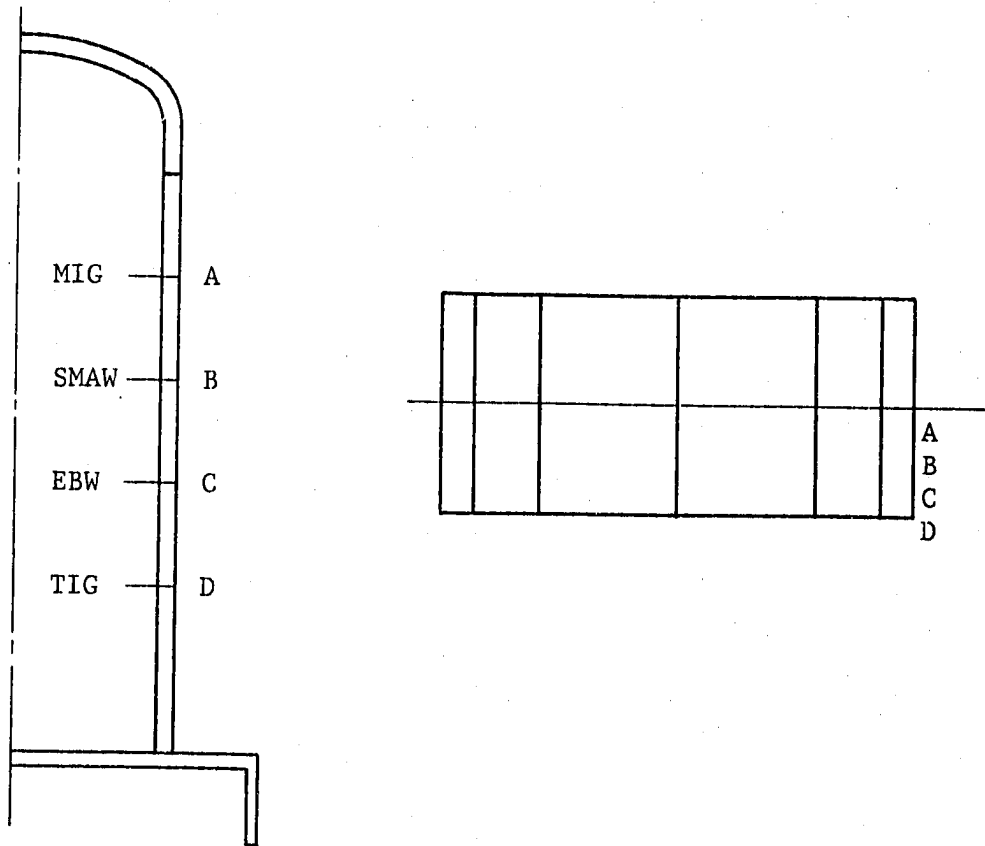


Fig. 2.5.5 Stress Classification Lines for Inner Shell Weldment

Table 2.5.1 Heat Transfer Analysis Step for Inner Shell Wcid

Total Step	Total Time(sec)	Real Time (sec)	Number of Steps	Total Step	Total Time(sec)	Real Time (sec)	Number of Steps
1	0	Cold 0	1	38	300	Hot 0	1
2	15	Cold 15	2	39	315	Hot 15	2
4	20	Cold 20	2	41	320	Hot 20	2
6	30	Cold 30	2	43	330	Hot 30	2
8	40	Cold 40	2	45	340	Hot 40	2
10	50	Cold 50	2	47	350	Hot 50	2
12	60	Cold 60	2	49	360	Hot 60	2
14	70	Cold 70	2	51	370	Hot 70	2
16	80	Cold 80	2	53	380	Hot 80	2
18	90	Cold 90	2	55	390	Hot 90	2
20	100	Cold 100	2	57	400	Hot 100	2
22	110	Cold 110	2	59	410	Hot 110	2
24	120	Cold 120	3	61	420	Hot 120	3
27	150	Cold 150	3	64	450	Hot 150	3
30	180	Cold 180	3	67	480	Hot 180	3
33	240	Cold 240	3	70	540	Hot 240	3
36	300	Cold 300	3	73	600	Hot 300	3

Table 2.5.2 Thermal Stress Analysis Step for Inner Shell Weld

Step for Stress	Total Time(sec)	Real Time (sec)	Step for Heat Transfer	Step for Stress	Total Time(sec)	Real Time (sec)	Step for Heat Transfer		
1	30	Cold	30	6	9	330	Hot	30	43
2	40	Cold	40	8	10	340	Hot	40	45
3	50	Cold	50	10	11	350	Hot	50	47
4	60	Cold	60	12	12	360	Hot	60	49
5	70	Cold	70	14	13	370	Hot	70	51
6	80	Cold	80	16	14	380	Hot	80	53
7	90	Cold	90	18	15	390	Hot	90	55
8	100	Cold	100	20	16	400	Hot	100	57

Table 2.5.3 Stress Summary for TTSDS (Inner Shell Weldment)

LOC.	STEP	TIME	TEMP	SGR	SGZ	SGTH	TRZ	MISES
IW-A	2	C 40	450.9	0.015	46.609	46.691	0.000	46.64
	11	H 50	471.2	0.002	-53.189	-53.176	0.000	53.18
IW-B	2	C 40	461.7	0.009	43.245	43.320	0.000	43.27
	12	H 60	481.2	-0.049	-50.353	-50.340	0.000	50.30
IW-C	3	C 50	454.4	-0.009	39.269	39.336	0.000	39.31
	11	H 50	448.4	0.019	-49.435	-49.430	0.000	49.45
IW-D	4	C 60	458.0	-0.003	32.748	32.799	0.000	32.78
	13	H 70	476.2	-0.009	-47.448	-47.439	0.000	47.43

TIME : Time(sec)

TEMP : Temperature(°C)

SGR : σ_r (kg/mm²)SGZ : σ_z (kg/mm²)SGTH : σ_θ (kg/mm²)TRZ : τ_{rz} (kg/mm²)MISES : σ_{Mises} (kg/mm²)

Table 2.5.4 Stress Summary for BDS (Inner Shell Weldment)

LINE	Time (sec)	Q (kg/mm ²)				Q + F (kg/mm ²)				Temp	
		SIG-R	SIG-Z	SIG-TH	TAU-RZ	SIG-R	SIG-Z	SIG-TH	TAU-RZ	DT1	DT2
IW-A	C 40	-0.693	33.896	34.679	0.000	0.135	47.934	47.977	0.000	338.1	50.5
	H 50	0.866	-44.682	-45.534	0.000	-0.106	-54.366	-54.309	0.000		
IW-B	C 40	-0.652	31.989	32.720	0.000	0.113	44.435	44.473	0.000	329.3	41.5
	H 60	0.842	-44.548	-45.370	0.000	-0.229	-51.467	-51.412	0.000		
IW-C	C 50	-0.623	31.249	31.934	0.000	0.060	40.229	40.262	0.000	306.8	42.0
	H 50	0.783	-40.132	-40.920	0.000	-0.055	-50.479	-50.433	0.000		
IW-D	C 60	-0.519	26.163	26.730	0.000	0.062	33.557	33.580	0.000	297.8	27.5
	H 70	0.808	-43.172	-43.935	0.000	-0.123	-48.412	-48.363	0.000		

Q : ホットショックとコールドショックの2次応力強さ成分を局所座標系で表したものである。(kg/mm²)

Q + F : ホットショックとコールドショックの(熱ピーク + 2次応力)強さ成分を局所座標系で表したものである。(kg/mm²)

SIG-R : σ_r (kg/mm²), SIG-Z : σ_z (kg/mm²)

SIG-TH : σ_θ (kg/mm²), TAU-RZ : τ_{rz} (kg/mm²)

DT1 : 等価線形温度分布を仮定した内外面温度差 (°C)

DT2 : 等価線形温度分布を仮定した温度のピーク成分 (°C)

2. 6 スリット入り円筒胴

スリット入り円筒胴は、周方向12箇所幅50mmの長円形の開口部を設けた、板厚40mmの円筒構造物である。本構造はタンク型高速炉の炉心支持構造の一案として考えられた構造を模擬したものである。

本試験部の概略形状をFig. 2.6.1 に示す。

2. 6. 1 伝熱解析

主流路の温度変化と円筒胴廻りの温度変化を比較すると、円筒胴上部へ設置された積層板部へは主流路からナトリウムの流れ込みが認められる。そのため積層板を等価物性値でモデル化し主流路の温度変化を熱過渡条件とする熱伝導解析で構造材の温度分布を求めるという解析方法を採用することは難しいと考え、積層板はモデル化範囲とせず構造材である円筒胴のみをモデル化することとした。

スリット入り円筒胴は形状的に3次元であり、軸対称にモデル化して解析することが難しいため3次元ソリッド要素でモデル化した。3次元モデル化は対称性及び周方向の繰り返し性を考慮し周方向へ15°のみモデル化するものとした。

構造寸法をFig. 2.6.2 に示す。

要素分割図をFig. 2.6.3 に示す。総要素数は 590、総節点数は 2052である。

円筒胴のスリット内領域は、スリット内面の温度を入力条件とするには温度データが少ないため、ナトリウムとしてモデル化しナトリウムの物性値を与えた。

円筒胴内外面を熱伝達境界面とし、流れ込みがあるため積層板下部境界で急激な軸方向温度変化はないと考え、円筒胴内外面の熱電対による温度データを軸方向に線形補間して、試験で得られた内面及び外面の温度変化を多直線近似した熱過渡条件を与えた。

熱伝導解析用の境界条件をFig. 2.6.4 に示す。

解析に使用した熱過渡条件を付録Aに示す。

コールドショック開始時にはホットの定常状態に達し、ホットショック開始時にはコールドの定常状態に達しているため、コールドショック、ホットショックそれぞれ開始後1200秒までを解析対象時間とし、ホットショック、コールドショックそれぞれ別に解析を行った。

解析時刻とステップ数の関係をTable 2.6.1 に示す。

2. 6. 2 熱応力解析

熱伝導解析用モデルから熱伝導要素及びナトリウム部分を除いたものを熱応力解析用モデルとした。要素分割図をFig. 2.6.5 に示す。総要素数は 300、総節点数は 1859

である。

熱応力解析用の境界条件をFig. 2.6.6 に示す。

スリット入り円筒胴は上部が上鏡に固定されていること、下部は自由端となっていることを考慮し、上面は軸方向変位固定、下面は自由とした。また $\theta = 0^\circ$ 、 15° の切断面は、周方向の連続性を考慮して周方向変位固定とした。

解析ステップと温度ステップとの対応をTable 2.6.2 に示す。

2. 6. 3 伝熱解析結果

内面に温度変化と熱伝達を与え外面での温度変化が実験と合うように熱伝達率を調整するという他の部位で用いている方法は使えない。内面だけでなく外面も温度入力とした。円筒胴は構造的に主流路側のナトリウムが円筒胴の外面へ流れ込む構造となっている。温度計測結果から見るとこの流れ込みは有意である。この温度計測結果を解析条件として用いているため、同じような手法で解析している内筒溶接部と異なり、主流路側でない外面にも熱ピークがでてくることになる。

入力した温度条件は、内外面に設置された熱電対を軸方向に線形補間して使用している。しかし、内面と外面の熱電対の取り付け位置間隔が必ずしも同一ではないため位置によっては実際の温度分布と比較して解析値に誤差が出てくるおそれはある。

$\theta = 15^\circ$ の切断面の内面の軸方向温度分布をFig. 2.6.7 に、外面の軸方向温度分布をFig. 2.6.8 に示す。

これは境界条件として入力した温度分布と対応している。

2. 6. 4 熱応力解析結果

$\theta = 0^\circ$ の切断面及びスリットコーナの内面の軸方向応力分布をFig. 2.6.9 に、 $\theta = 15^\circ$ の切断面の内面の軸方向応力分布をFig. 2.6.10に示す。

スリット入り円筒胴部の評価点及び評価ラインをFig. 2.6.11に示す。

各評価点のTTSDS評価に用いる応力値及び評価ラインのBDS評価に用いる応力値をTable 2.6.3, 4 に示す。

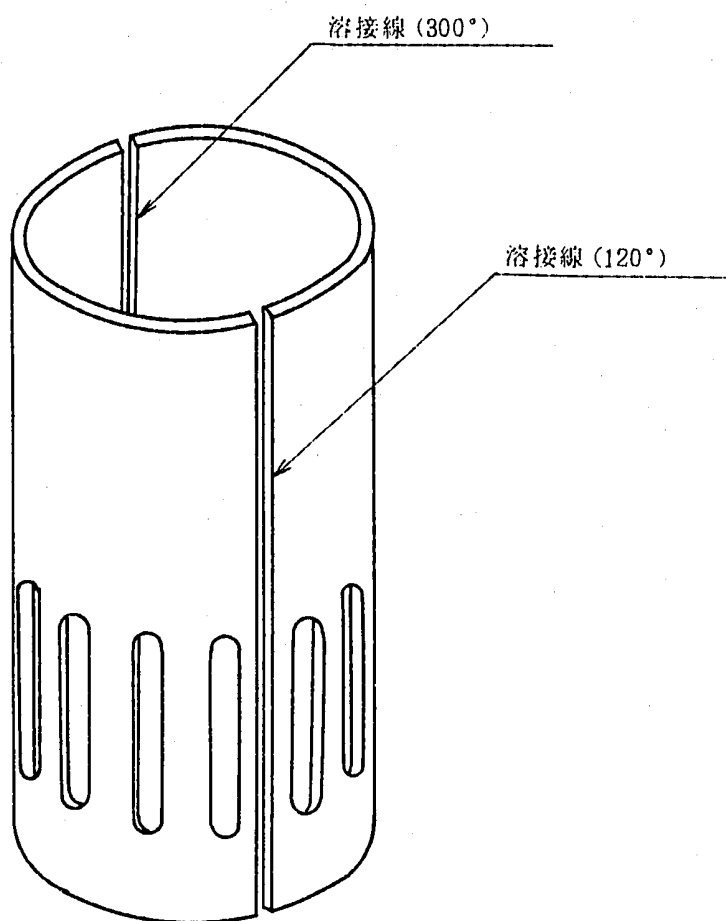


Fig. 2.6.1 Slitted Cylinder Configuration

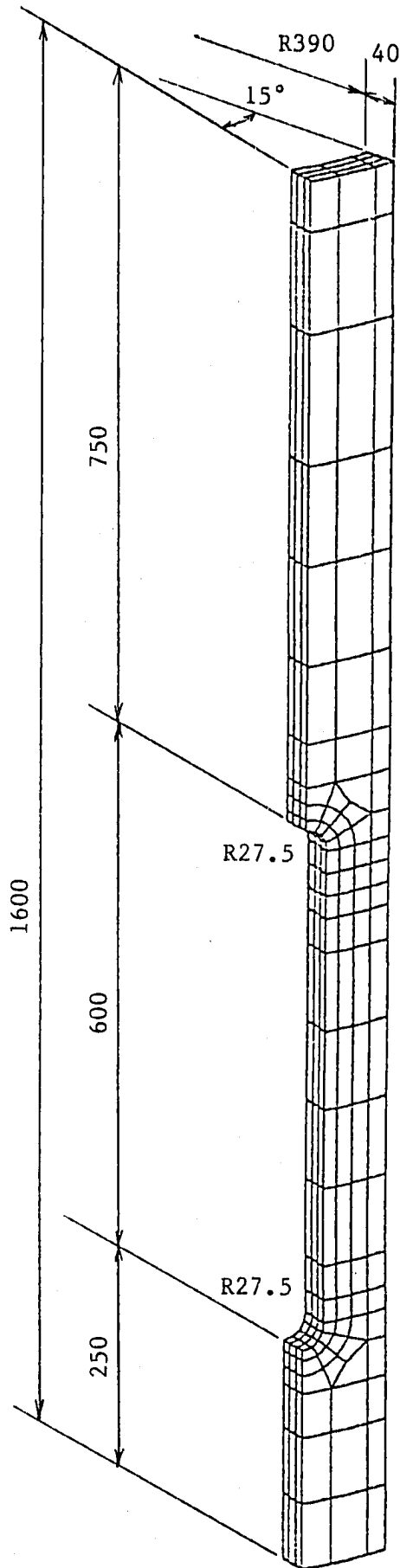
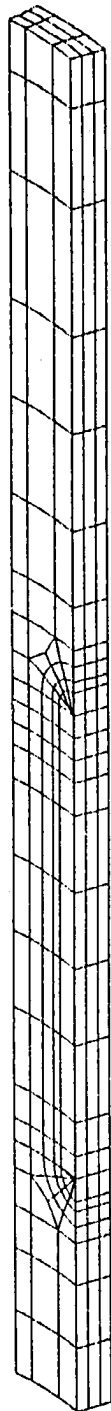


Fig. 2.6.2 Dimension of Slitted Cylinder

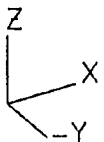


NUMBER OF ELEMENTS 590

NUMBER OF NODES 2052

NUMBER OF UNKNOWN FREEDOMS 2052

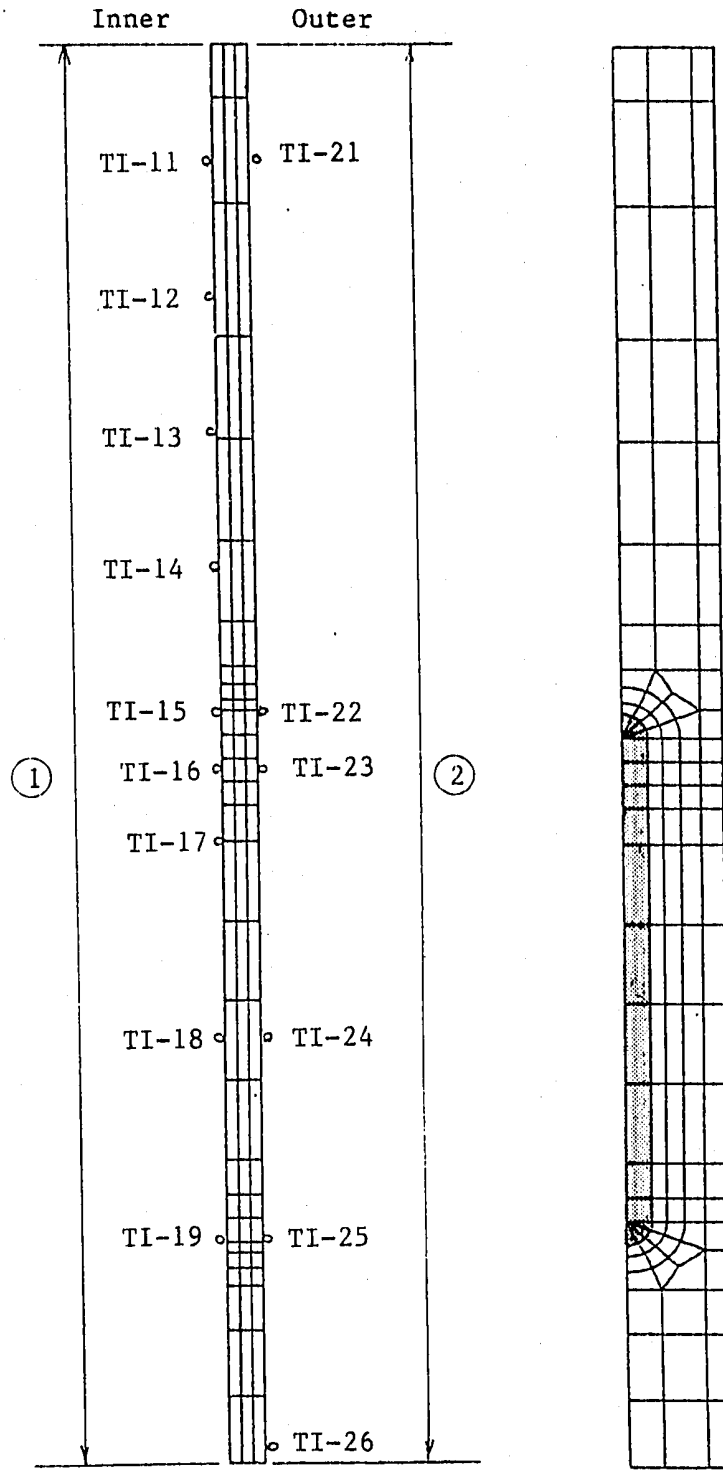
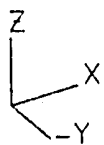
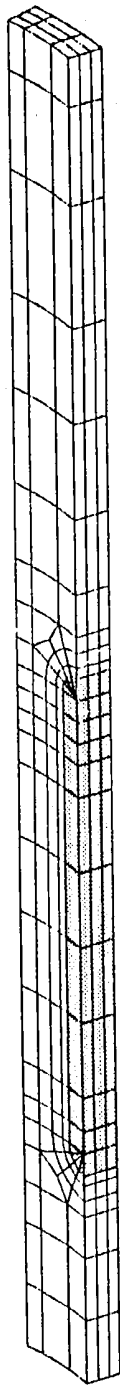
(354*HHEX20)
(236*FQFAC8)



SLITTED CYLINDER

Fig. 2.6.3 Finite Element Model of Slitted Cylinder for Heat Transfer Analysis

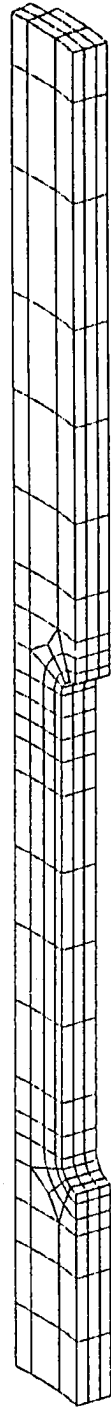
FINAS



No.	α (Kcal/mm ² sec°C)
①	3.0×10^{-6}
②	3.0×10^{-6}

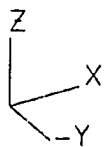
Sodium

Fig. 2.6.4 Boundary Condition for Heat Transfer Analysis



NUMBER OF ELEMENTS 300
NUMBER OF NODES 1859
NUMBER OF UNKNOWN FREEDOMS 5076

(300*HEX20)



SLITTED CYLINDER

Fig. 2.6.5 Finite Element Model of Slitted Cylinder for Thermal Stress Analysis

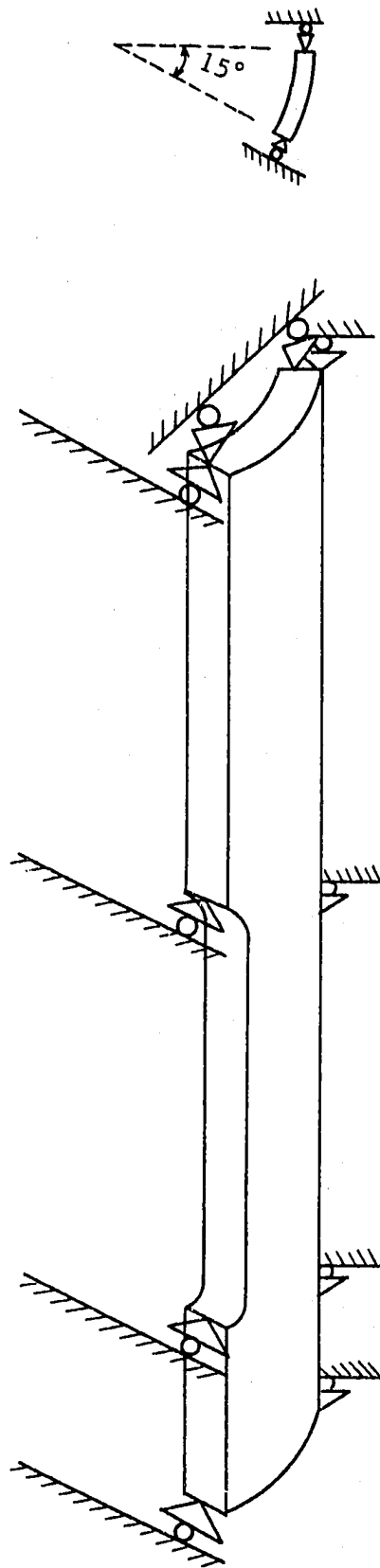
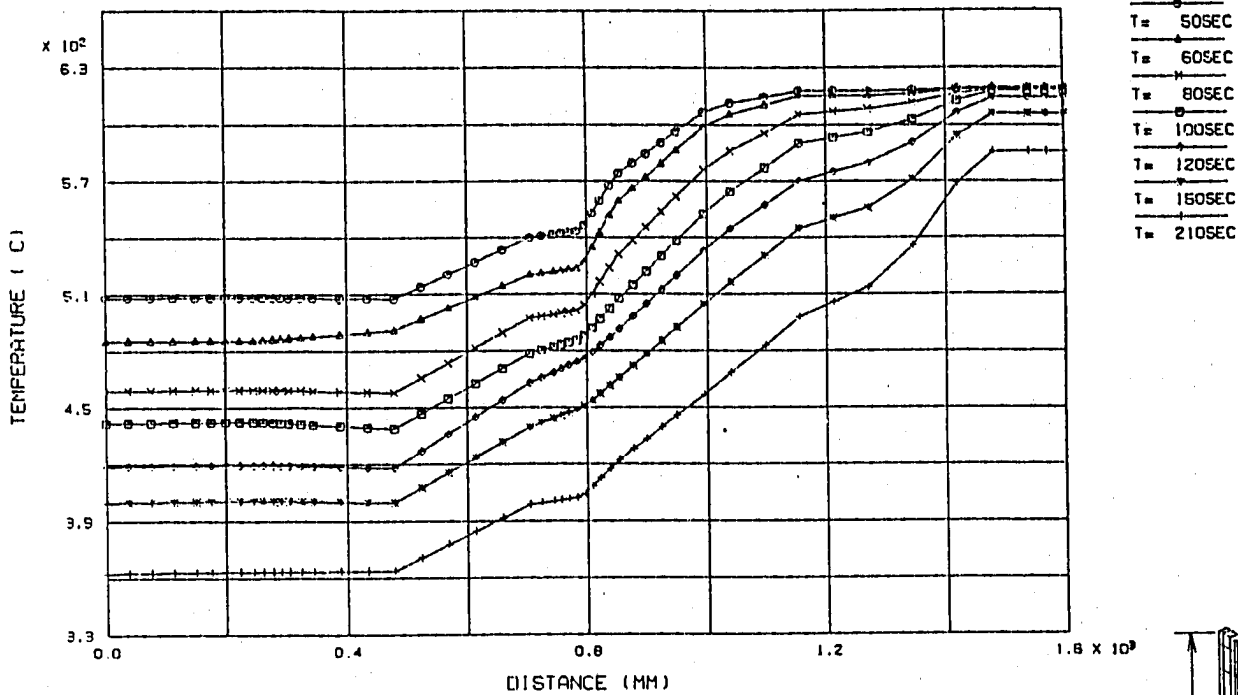
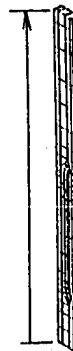


Fig. 2.6.6 Boundary Condition for Thermal Stress Analysis

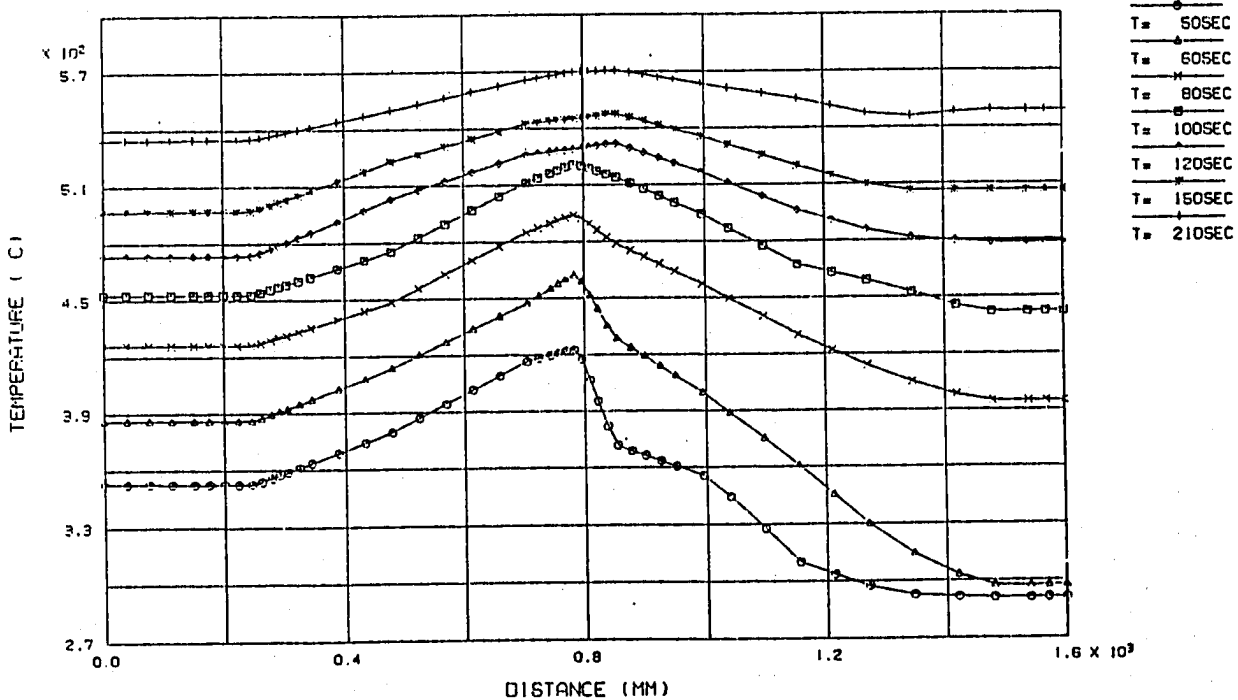
FINAS



SMTG-1 SLITTED CYLINDER (TH=15 INNER . COLD SHOCK)



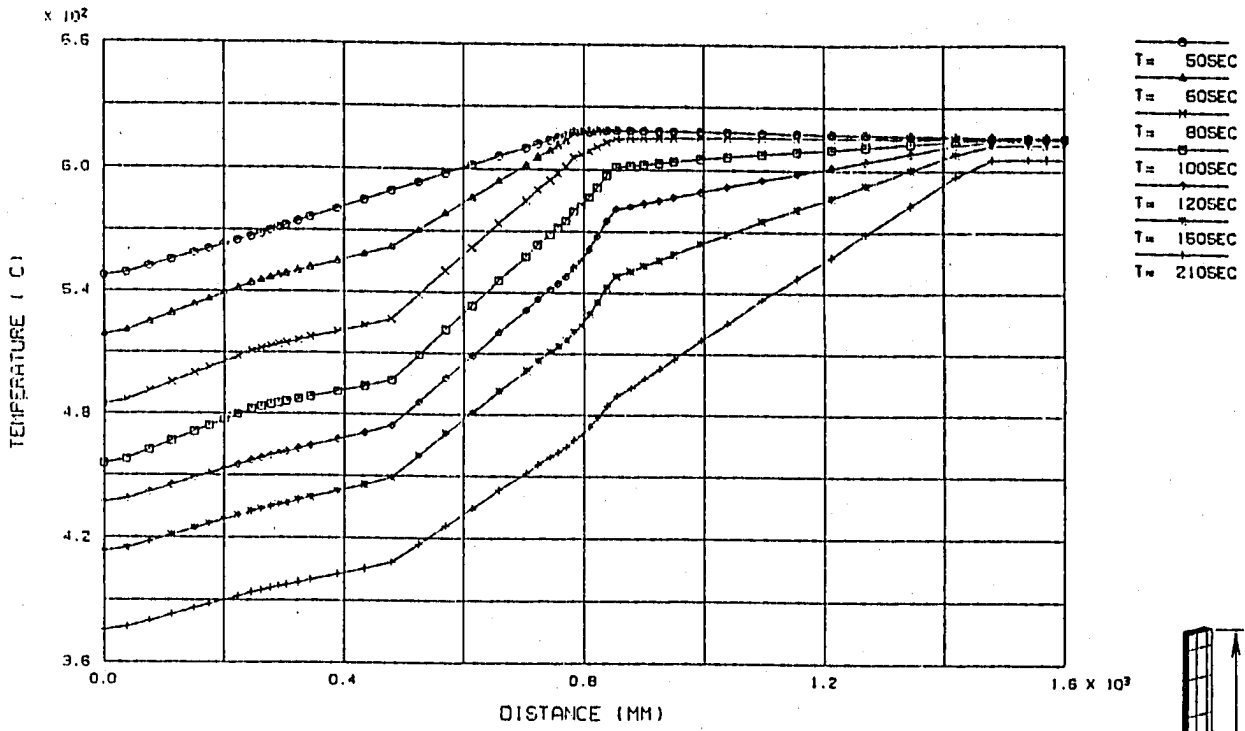
FINAS



SMTG-1 SLITTED CYLINDER (TH=15 INNER . HOT SHOCK)

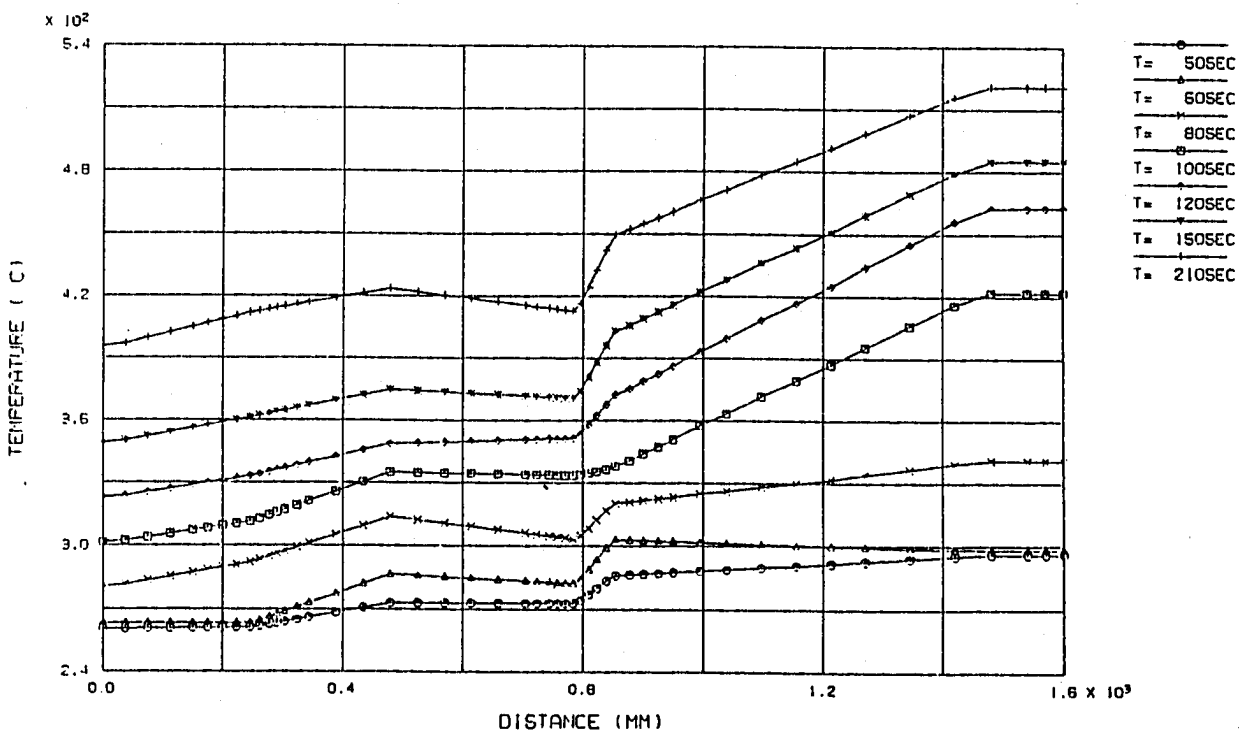
Fig. 2.6.7 Temperature Distributions along the Inner Surface

F114AS



SMTG-1 SLITTED CYLINDER (TH=15 OUTER . COLD SHOCK)

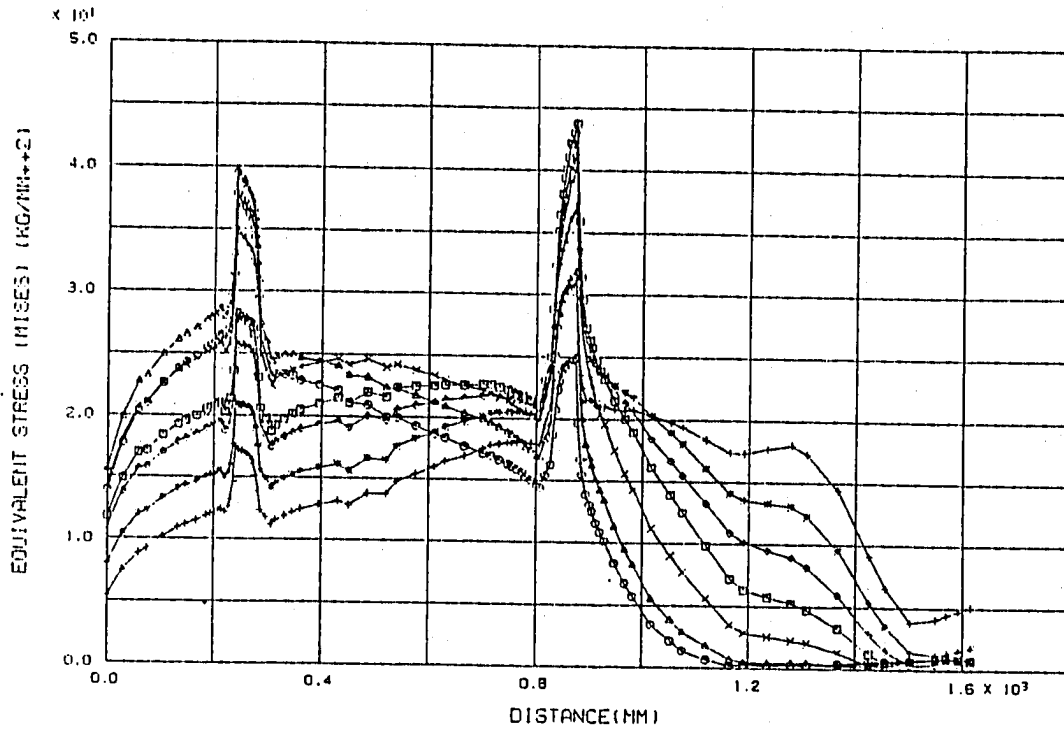
F114AS



SMTG-1 SLITTED CYLINDER (TH=15 OUTER . HOT SHOCK)

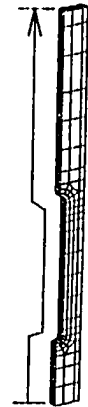
Fig. 2.6.8 Temperature Distributions along the Outer Surface

FINAS

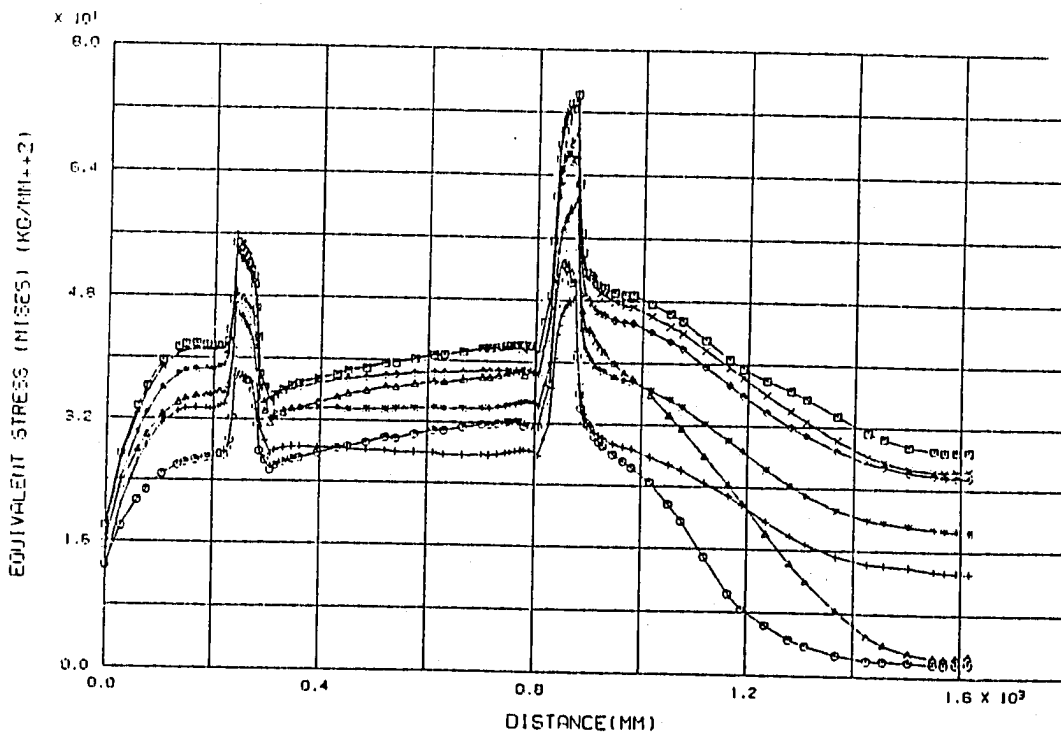


SMTG-1 SLITTED CYLINDER (TH=0.1INNER , COLD SHOCK)

- T = 50 SEC
- T = 60 SEC
- T = 80 SEC
- T = 100 SEC
- T = 120 SEC
- T = 150 SEC
- T = 210 SEC



FINAS



SMTG-1 SLITTED CYLINDER (TH=0.1INNER , HOT SHOCK)

- T = 50 SEC
- T = 60 SEC
- T = 80 SEC
- T = 100 SEC
- T = 120 SEC
- T = 150 SEC
- T = 210 SEC

Fig. 2.6.9 Stress Distribution along the Inner Surface of Slitted Portion

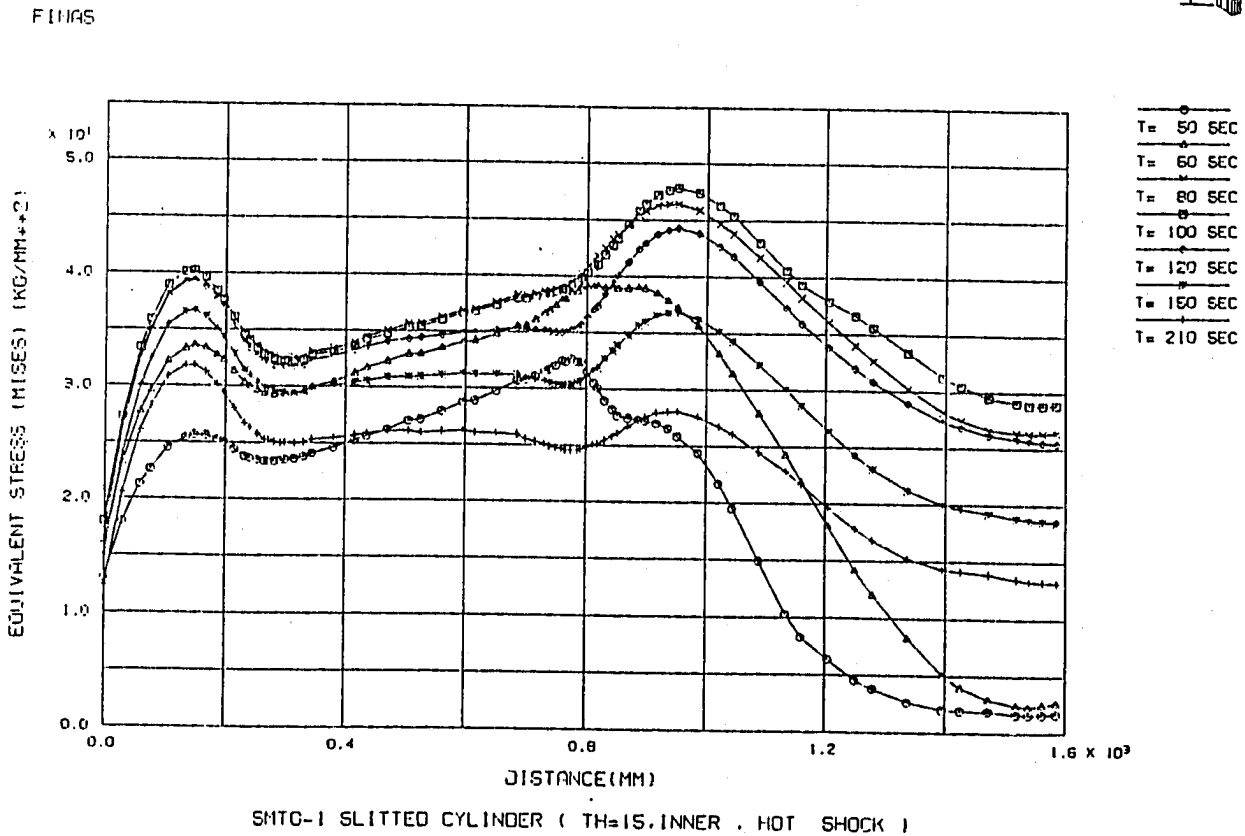
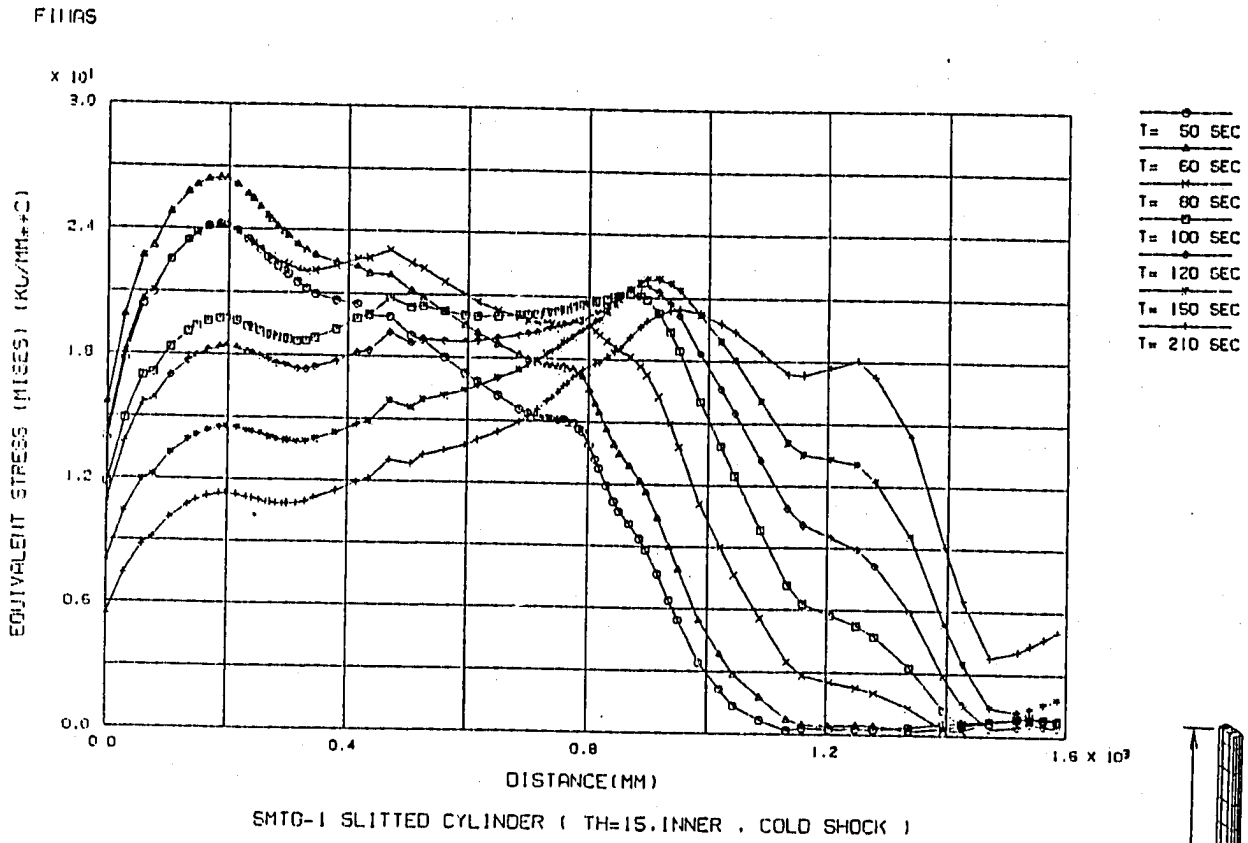


Fig. 2.6.10 Stress Distribution along the Inner Surface of Unslitted Portion

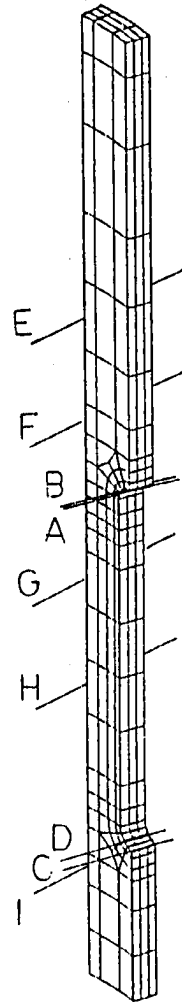


Fig. 2.6.11 Classification Lines for Slitted Cylinder

Table 2.6.1 Heat Transfer Analysis Step for Shitted Cylinder

Total Step	Total Time(sec)	Real Time (sec)	Number of Steps	Total Step	Total Time(sec)	Real Time (sec)	Number of Steps
1	0	Cold 0	1	1	0	Hot 0	1
2	15	Cold 15	1	2	20	Hot 20	4
3	20	Cold 20	2	6	40	Hot 40	4
5	40	Cold 40	2	10	60	Hot 60	3
7	60	Cold 60	1	13	80	Hot 80	2
8	80	Cold 80	1	15	100	Hot 100	1
9	100	Cold 100	1	16	120	Hot 120	2
10	120	Cold 120	2	18	180	Hot 180	2
12	180	Cold 180	2	20	240	Hot 240	2
14	240	Cold 240	2	22	360	Hot 360	2
16	360	Cold 360	2	24	480	Hot 480	1
18	480	Cold 480	2	25	600	Hot 600	1
20	600	Cold 600	2	26	720	Hot 720	1
22	720	Cold 720	2	27	960	Hot 960	1
24	960	Cold 960	2	28	1200	Hot 1200	1
26	1200	Cold 1200					

Table 2.6.2 Thermal Stress Analysis Step for Slitted Cylinder

Step for Stress	Total Time(sec)	Real Time (sec)	Step for Heat Transfer	Step for Stress	Total Time(sec)	Real Time (sec)	Step for Heat Transfer
1	50	Cold 50	6	1 (8)	50	Hot 50	8
2	60	Cold 60	7	2 (9)	60	Hot 60	10
3	80	Cold 80	8	3 (10)	80	Hot 80	13
4	100	Cold 100	9	4 (11)	100	Hot 100	15
5	120	Cold 120	10	5 (12)	120	Hot 120	16
6	150	Cold 150	11	6 (13)	150	Hot 150	17
7	210	Cold 210	13	7 (14)	210	Hot 210	19

Table 2.6.3 Stress Summary for TTSDS (Slitted Cylinder)

LOC.	STEP	TIME	TEMP	Stress (kg/mm ²)						
				VMS	S-X	S-Y	S-Z	S-XY	S-YZ	S-ZX
SL-A 4202	4	C 100	513.0	43.743	1.361	46.003	3.431	-0.438	-1.384	-0.892
(4202-7)	11	H 100	500.1	74.236	-2.456	-78.076	-5.680	0.796	2.332	1.612
SL-B 4192	4	C 100	510.6	40.114	1.311	26.018	18.810	-2.828	-19.126	1.076
(4192-1)	11	H 100	501.2	71.338	-2.376	-45.412	-34.083	4.816	34.245	-1.677
SL-C 4032	2	C 60	492.8	39.691	2.438	42.732	4.047	-0.410	1.270	1.698
(4032-1)	12	H 120	462.5	55.819	-1.395	-58.305	-3.897	0.634	-1.726	-1.001
SL-D 4042	2	C 60	492.7	37.947	2.585	24.954	19.722	-2.876	18.298	0.099
(4042-7)	12	H 120	463.6	53.339	-1.372	-33.767	-24.949	3.653	-25.536	1.543
SL-E 4233	7	C 210	489.2	18.386	2.124	18.054	19.483	-4.452	0.021	0.084
(4233-6)	11	H 100	461.6	43.034	-5.207	-42.819	-45.445	10.512	-0.022	-0.093
SL-F 4213	6	C 150	493.4	21.874	2.571	22.515	21.856	-5.580	-0.055	0.034
(4213-6)	11	H 100	487.4	47.222	-5.495	-47.379	-48.838	11.723	0.176	0.033
SL-G 4125	3	C 80	499.5	20.281	2.061	11.686	24.791	-2.634	0.038	0.024
(4125-6)	11	H 100	488.5	37.372	-2.938	-17.249	-44.703	3.880	-0.010	0.101
SL-H 4105	3	C 80	470.5	23.093	3.359	16.965	28.905	-3.791	0.046	0.017
(4105-6)	11	H 100	461.0	34.706	-2.669	-15.391	-41.373	3.515	-0.050	-0.017
SL-I 4023	2	C 60	498.3	26.410	4.027	27.997	27.485	-6.706	0.051	0.028
(4023-6)	11	H 100	439.0	39.613	-4.654	-42.492	-36.176	10.590	-0.166	-0.083

TIME : Time(sec)

TEMP : Temperature(°C)

VMS : σ_{Mises} (kg/mm²)S-X : σ_x (kg/mm²)S-Y : σ_y (kg/mm²)S-Z : σ_z (kg/mm²)S-XY : τ_{xy} (kg/mm²)S-YZ : τ_{yz} (kg/mm²)S-ZX : τ_{zx} (kg/mm²)

Table 2.6.4 Stress Summary for BDS (Sitted Cylinder)

LINE	Time (sec)	Q (kg/mm ²)						Q + F (kg/mm ²)						Temp	
		S-X	S-Y	S-Z	S-XY	S-YZ	S-ZX	S-X	S-Y	S-Z	S-XY	S-YZ	S-ZX	DT1	DT2
SL-A	C 100	4.9	45.6	3.7	-0.3	0.3	-1.0	1.0	50.1	3.7	-0.2	0.6	0.9	250.0	31.9
	H 100	-9.7	-78.5	-6.3	0.5	-0.6	2.2	-2.2	-85.6	-6.4	0.4	-1.0	1.5		
SL-B	C 100	4.8	41.5	3.3	-3.4	1.6	-1.3	0.8	45.3	3.3	-2.0	2.4	-1.0	252.5	31.8
	H 100	-9.5	-75.6	-5.8	5.6	-2.3	2.7	-1.6	-90.7	-5.6	3.3	-3.5	1.8		
SL-C	C 60	9.1	36.2	3.8	0.2	-0.3	-2.6	2.2	47.7	4.9	0.2	-0.5	-1.6	184.2	41.0
	H 120	-6.7	-59.0	-4.5	-0.4	0.5	1.5	-0.9	-63.9	-4.2	-0.4	0.8	0.9		
SL-D	C 60	9.1	34.8	3.6	1.9	-0.8	-3.0	2.1	45.3	4.7	1.4	-1.4	-1.8	185.9	39.9
	H 120	-6.6	-56.3	-4.1	-4.7	1.9	2.0	-0.6	-60.0	-3.7	-2.6	2.8	1.1		
SL-E	C 210	0.5	12.8	12.3	-0.2	0.0	0.0	2.1	23.1	22.7	-0.1	0.0	0.0	161.0	74.6
	H 100	-1.1	-26.7	-26.3	0.4	0.0	0.0	-5.6	-54.0	-54.3	0.0	0.0	0.0		
SL-F	C 150	0.6	13.3	15.3	0.0	0.1	0.0	2.5	26.2	28.5	0.0	0.1	0.0	225.3	75.2
	H 100	-1.3	-32.4	-33.6	-0.4	-0.2	0.0	-5.5	-57.4	-59.2	0.0	-0.2	0.0		
SL-G	C 80	0.5	13.8	0.7	-0.1	0.0	0.1	3.1	30.1	16.4	0.0	0.0	0.0	249.6	80.5
	H 80	-0.8	-29.9	-1.8	-0.2	0.0	-0.1	-5.5	-54.0	-27.0	-0.1	0.0	-0.1		
SL-H	C 80	0.6	12.6	0.0	-0.1	0.0	0.0	5.0	35.9	23.9	0.0	0.0	0.0	200.2	92.7
	H 60	-0.6	-26.6	0.0	0.0	0.1	0.0	-5.0	-50.2	-24.5	0.0	0.1	0.0		
SL-I	C 60	0.8	9.6	11.6	0.1	0.0	0.0	5.3	35.0	37.4	-0.1	0.0	0.0	192.6	87.6
	H 100	-1.0	-23.1	-32.5	0.1	0.1	0.0	-4.2	-42.7	-52.2	0.1	0.1	0.0		

Q : ホットショックとコールドショックの2次応力強さ成分を局所座標系で表したものである。(kg/mm²)

Q + F : ホットショックとコールドショックの(熱ピーク+2次応力)強さ成分を局所座標系で表したものである。(kg/mm²)

S-X : σ_x (kg/mm²), S-Y : σ_y (kg/mm²)

S-Z : σ_z (kg/mm²), S-XY : τ_{xy} (kg/mm²)

S-YZ : τ_{yz} (kg/mm²), S-ZX : τ_{zx} (kg/mm²)

DT1 : 等価線形温度分布を仮定した内外面温度差(°C)

DT2 : 等価線形温度分布を仮定した温度のピーク成分(°C)

3. クリープ疲労強度評価

3. 1 評価手法

(1) TTSDSによる評価手法

構造物強度確性試験施設(TTS)で試験される一連の供試体の評価は、TTS専用設計基準(TTSDS)により行われている。これは、材料強度の安全裕度を合理的に切り詰めることにより構造物の実質的なクリープ疲労強度を評価する手法である。Fig. 3.1.1にTTSDSの評価手法の流れを示す。

TTSDSでは、まず弾性応力解析結果から熱過渡1サイクル中の最大相当ひずみ範囲 $\Delta \varepsilon_{e,q}$ を求める。

$$\Delta \varepsilon_{e,q} = \sqrt{2/3} \left\{ (\Delta \varepsilon_r - \Delta \varepsilon_z)^2 + (\Delta \varepsilon_z - \Delta \varepsilon_\theta)^2 + (\Delta \varepsilon_\theta - \Delta \varepsilon_r)^2 + \frac{3}{2} \Delta \gamma_{r,z}^2 \right\}^{1/2}$$

さらに公称ひずみ範囲 ε_n を次式により求める。

$$\varepsilon_n = 1.5 / (1 + \nu) \cdot \Delta \varepsilon_{e,q}$$

ひずみ範囲 ε_i を次式で定義する。

$$\varepsilon_i = K_\varepsilon \cdot \varepsilon_n$$

ここで、 K_ε をひずみ集中係数と呼び、弾性解析で得られたひずみにこの定数を乗じることにより実際のひずみ範囲を想定する。

なお、本評価においては「熱過渡強度データのまとめ」の考え方に準じて $K_\varepsilon = 1.2$ としている。

(i) 疲労損傷の算出

熱過渡1サイクル中のひずみ範囲 ε_i 、ひずみ速度 $\dot{\varepsilon} = 2 \cdot \varepsilon_i / t_c$ (t_c : サイクル周期)、温度 T_{max} (サイクル中の最高温度)より最適疲労破損式に代入して得られる

寿命を $N(\epsilon_r)$ で表し N_r とする。

$$N_r = N(\epsilon_r)$$

さらに繰り返した熱過渡サイクル数を n とし次式で疲労損傷 D_r を求める。

$$D_r = n / N_r$$

(ii)クリープ損傷の算出

熱過渡1サイクル中のひずみ範囲の半分 $1/2 \cdot \epsilon_r$ に相当する応力 σ_0 をSUS304の動的応力ひずみ式に代入して算出する。この σ_0 を初期応力として単軸リラクゼーション解析を行い、 $t=0$ から $t=t_h$ (t_h :サイクル中の高温使用時間)までに生じるクリープ損傷 D_c を算出する。なお、単軸リラクゼーション解析ではひずみ硬化型のクリープを想定し、クリープ破断における時間係数 α_R 及びクリープひずみ式における時間係数 α_c を考慮してクリープ損傷を算出する。

なお、本評価においては、 $\alpha_R = 1.0$ 、 $\alpha_c = 1.0$ としている。

$$D_c = n \int_0^{t_h} (1/T_R) dt$$

以上、求めた疲労損傷 D_r とクリープ損傷 D_c との和としてクリープ疲労損傷を算出する。

$$D = D_r + D_c$$

(2) 高温構造設計方針による評価手法

「高速原型炉第1種機器の高温構造設計方針」(BDS)に規定されている「弾性解析による長期1次応力が低い場合のクリープ疲労損傷の制限」に基づいて疲労損傷値を求める。

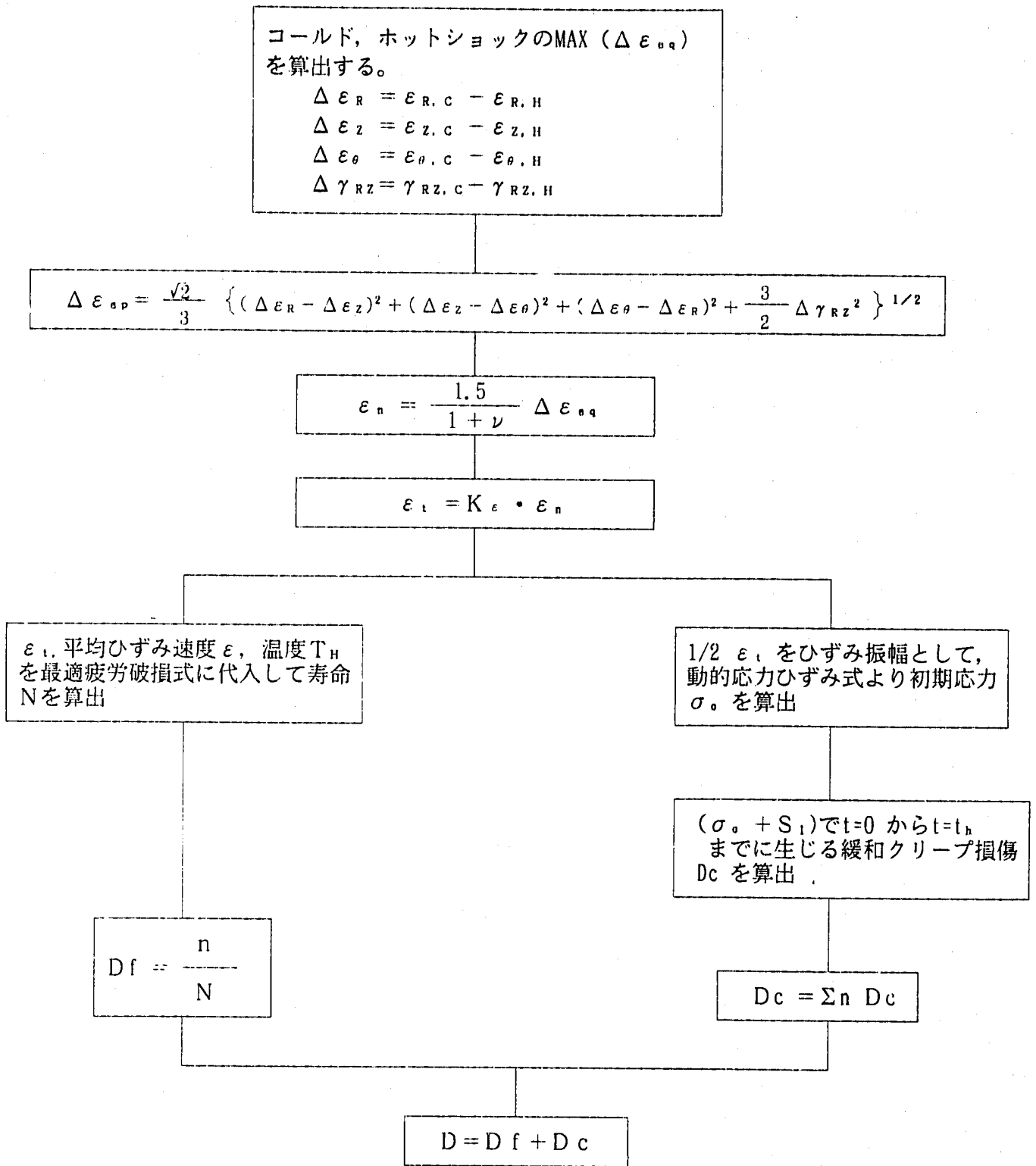


Fig 3.1.1 Flow of TTSDS

3. 2 評価結果

(1) TTSDSによる評価結果

供試体の各評価部位は熱応力解析結果を用いて、TTSDSでクリープ疲労損傷評価を行った。

TTSDSによる供試体の各モデルの強度評価結果をTable 3.2.1～5に示す。なお評価は、620℃から250℃のコールドショック開始後40分保持しその後250℃から620℃のホットショック開始後80分保持するという1サイクルの熱過渡を、1300サイクル繰り返すという条件で実施している。

(2) 高温構造設計方針による評価結果

供試体の各評価部位は熱応力解析結果を用いて、高温構造設計方針(BDS)でクリープ疲労損傷評価を行った。

BDSによる供試体の各モデルの強度評価結果をTable 3.2.6～10に示す。なお評価は、TTSDSと同様に620℃から250℃のコールドショック開始後40分保持しその後250℃から620℃のホットショック開始後80分保持するという1サイクルの熱過渡を、1300サイクル繰り返すという条件で実施している。

(3) 評価結果表の記号

(i) TTSDSによる評価 (Table 3.2.1～5)

LOC	: Evaluation Point
SIG.EQ	: Equivalent Stress Range (Mises) (kg/mm ²)
SK	: Load Controlled Stress (kg/mm ²)
KEPS	: Strain Concentration Factor
EPSN	: Nominal Strain Range
EPS.T	: Strain Range for Fatigue Evaluation
DF	: Fatigue Damage
DC	: Creep Damage
D	: Creep Fatigue Damage (DF+DC)

(ii) BDSによる評価 (Table 3.2.6～10)

Location:	Evaluation Point
Tmax	: Maximum Temperature (℃)
Sn	: Equivalent Stress Range (Mises) (kg/mm ²)

- K : Stress Concentration Factor
- K_ϵ : Strain Concentration Factor
- ϵ_n : Nominal Strain Range
- ϵ_F : Peak Thermal Strain Range
- ϵ_t : Strain Range for Fatigue Evaluation
- D_f : Fatigue Damage
- D_c : Creep Damage
- D : Creep Fatigue Damage ($D_f + D_c$)

Table 3.2.1 Creep Fatigue Damage according to TTSDS(Inlet Nozzle)

*** (∅ INN22S. POSS1B TMAX=620 K=1.20) ***
 TEMP. H 620.00 TEMP. C - TIME. H 1.333 TIME. C 0.667 CYCLE AR 1300 AC 1.0 QC 1.0 QK -

LOC	SIG. EQ	SK	K	KEPS	EPS. N	EPS. F	EPS. T	DF	DC	D	REM
IN-A 213	136.980	0.000	-	1.20	0.008102	-	0.009723	2.137	0.780	2.917	
IN-B 219	92.930	0.000	-	1.20	0.005516	-	0.006619	1.008	0.565	1.573	
IN-C 183	85.020	0.000	-	1.20	0.005023	-	0.006028	0.815	0.519	1.334	
IN-D 355	52.740	0.000	-	1.20	0.003177	-	0.003812	0.214	0.327	0.541	
IN-E 435	63.560	0.000	-	1.20	0.003940	-	0.004728	0.432	0.411	0.844	
IN-F 455	70.780	0.000	-	1.20	0.004444	-	0.005333	0.602	0.463	1.065	
IN-G 483	72.260	0.000	-	1.20	0.004525	-	0.005430	0.631	0.471	1.102	
IN-H 503	70.350	0.000	-	1.20	0.004388	-	0.005266	0.583	0.457	1.040	
IN-I 513	59.211	0.000	-	1.20	0.003639	-	0.004367	0.340	0.379	0.719	

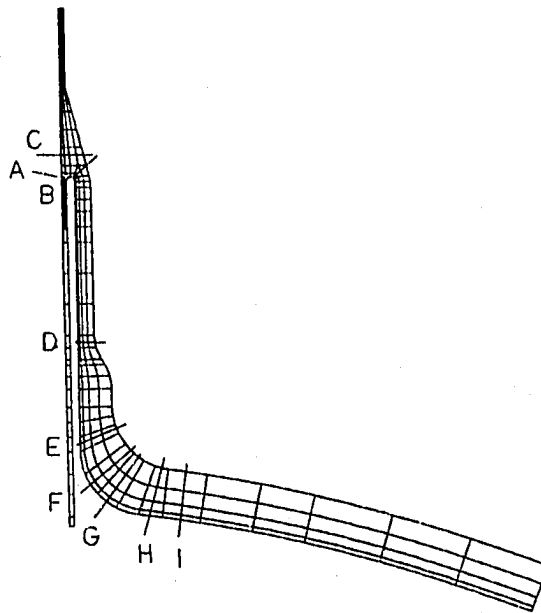


Table 3.2.2 Creep Fatigue Damage according to TTSDS(Outlet Nozzle)

*** (∅OTNZ1. POSS2B(FC=7200, BOUN)K=1.20) ***
 TEMP. H 620.00 TEMP. C -- TIME. H 1.333 TIME. C 0.667 CYCLE 1300 AR 1.0 AC 1.0 QC 1.0 QK --

LOC	SIG. EQ	SK	K	KEPS	EPS. N	EPS. F	EPS. T	DF	DC	D	REM
ON-A 1601	75.970	0.000	--	1.20	0.004590	--	0.005508	0.654	0.477	1.132	
ON-B 1571	49.450	0.000	--	1.20	0.002986	--	0.003583	0.169	0.304	0.473	
ON-C 1621	55.960	0.000	--	1.20	0.003356	--	0.004027	0.260	0.348	0.608	

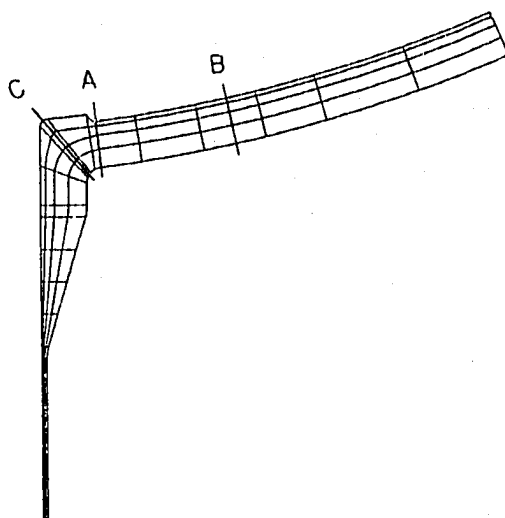


Table 3.2.3 Creep Fatigue Damage according to TTSDS(Skirt)

*** (∅ SKIRTC. POSS1C TMAX=620, BOUN K=1.20) ***
 TEMP. H 620.00 TEMP. C — TIME. H 1.333 TIME. C 0.667 CICLE 1300 AR 1.0 AC 1.0 QC 1.0 QK —

LOC	SIG. EQ	SK	K	KEPS	EPS. N	EPS. F	EPS. T	DF	DC	D	REM
SK-A 14017	73.560	0.000	—	1.20	0.004360	—	0.005232	0.573	0.454	1.027	
SK-B 1251	95.570	0.000	—	1.20	0.005660	—	0.006792	0.628	0.526	0.953	T _H =549
SK-C 1391	67.740	0.000	—	1.20	0.004000	—	0.004801	0.452	0.418	0.869	
SK-D 1151	69.480	0.000	—	1.20	0.004219	—	0.005063	0.524	0.440	0.965	
SK-E 14011	67.710	0.000	—	1.20	0.004018	—	0.004821	0.457	0.419	0.877	
SK-F 1161	74.260	0.000	—	1.20	0.004440	—	0.005328	0.601	0.462	1.063	

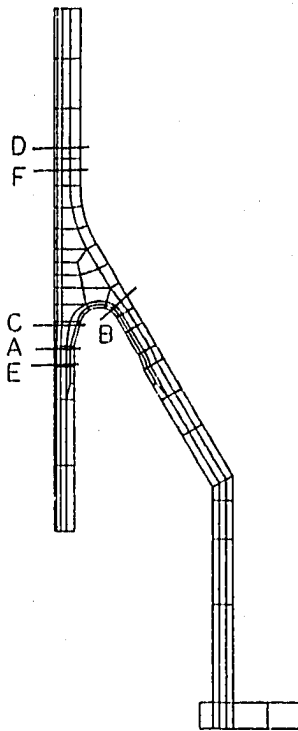


Table 3.2.4 Creep Fatigue Damage according to TTSDS (Inner Shell Weld)

*** (720W, D703W, D704W, D705W(FC=7200, 14400)) *** TEMP. H TEMP. C TIME. H TIME. C CYCLE AR AC QC QK
 620.00 - 1.333 0.667 1300 1.0 1.0 1.0 --

LOC	SIG. EQ	SK	K	KEPS	EPS. N	EPS. F	EPS. T	DF	DC	D	REM
IW-A D702W	99.820	0.000	--	1.20	0.006019	--	0.007223	1.214	0.610	1.823	
IW-B D703W	93.570	0.000	--	1.20	0.005678	--	0.006814	1.074	0.579	1.653	
IW-C D704W	88.760	0.000	--	1.20	0.005318	--	0.006381	0.929	0.547	1.476	
IW-D D705W	80.210	0.000	--	1.20	0.004858	--	0.005829	0.753	0.503	1.256	
IW-E A-B	96.700	0.000	--	1.20	0.005850	--	0.007019	1.144	0.595	1.738	
IW-F B-C	91.170	0.000	--	1.20	0.005497	--	0.006597	1.001	0.563	1.564	
IW-G C-D	84.490	0.000	--	1.20	0.005083	--	0.006100	0.838	0.525	1.363	

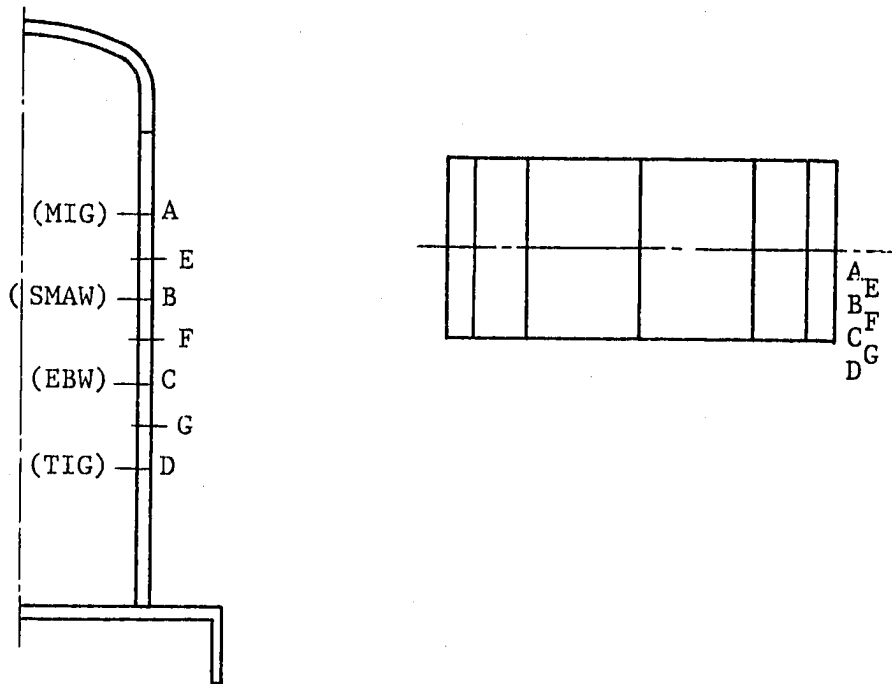


Table 3.2.5 Creep Fatigue Damage according to TTSDS(Slitted Cylinder)

*** (SLITTED CYLINDER \varnothing SLT3D, POSS3) *** TEMP.H TEMP.C TIME.H TIME.C CYCLE AR AC QC QK
 620.00 - 1.333 0.666 1300 1.0 1.0 1.0 -

LOC	SIG. EQ	SK	K	KEPS	EPS. N	EPS. F	EPS. T	DF	DC	D	REM
SL-A 4202	117.979	0.000	-	1.20	0.007305	-	0.008767	1.771	0.717	2.489	
SL-B 4192	111.452	0.000	-	1.20	0.006900	-	0.008280	1.591	0.684	2.276	
SL-C 4032	95.510	0.000	-	1.20	0.005806	-	0.006967	1.126	0.591	1.716	
SL-D 4042	91.286	0.000	-	1.20	0.005552	-	0.006662	1.022	0.568	1.590	
SL-E 4233	61.420	0.000	-	1.20	0.003721	-	0.004466	0.364	0.388	0.752	
SL-F 4213	69.096	0.000	-	1.20	0.004237	-	0.005085	0.531	0.442	0.973	
SL-G 4125	57.653	0.000	-	1.20	0.003542	-	0.004251	0.312	0.368	0.680	
SL-H 4105	57.745	0.000	-	1.20	0.003488	-	0.004186	0.296	0.362	0.659	
SL-I 4023	66.023	0.000	-	1.20	0.003985	-	0.004782	0.447	0.416	0.863	

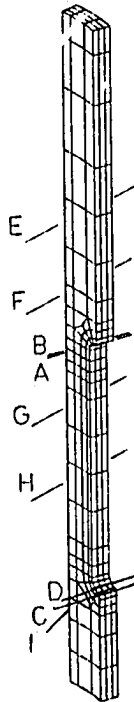


Table 3.2.6 Creep Fatigue Damage according to BDS(Inlet Nozzle)

Location	Tmax	Sn	K	K ϵ	ϵn ($\times 10^{-2}$)	ϵF ($\times 10^{-2}$)	ϵt ($\times 10^{-2}$)	Df	Dc	D
IN-A	620.0	165.92	1.00	2.74	1.109	0.017	3.054	344.7	138.4	483.1
IN-B	620.0	39.74	2.66	7.08	0.266	0.059	1.939	160.8	69.7	230.5
IN-C	620.0	72.15	1.04	2.49	0.482	0.214	1.417	95.1	44.6	139.7
IN-D	620.0	51.55	1.00	2.16	0.345	0.071	0.815	35.1	23.4	58.5
IN-E	620.0	48.08	1.00	2.26	0.321	0.125	0.853	38.2	24.5	62.8
IN-F	620.0	66.81	1.00	2.35	0.447	0.129	1.179	69.8	35.3	105.1
IN-G	620.0	71.38	1.00	2.39	0.477	0.127	1.266	78.6	38.6	117.2
IN-H	620.0	60.22	1.00	2.28	0.403	0.159	1.076	59.3	31.5	90.8
IN-I	620.0	45.27	1.00	2.20	0.303	0.105	0.772	31.5	22.2	53.7

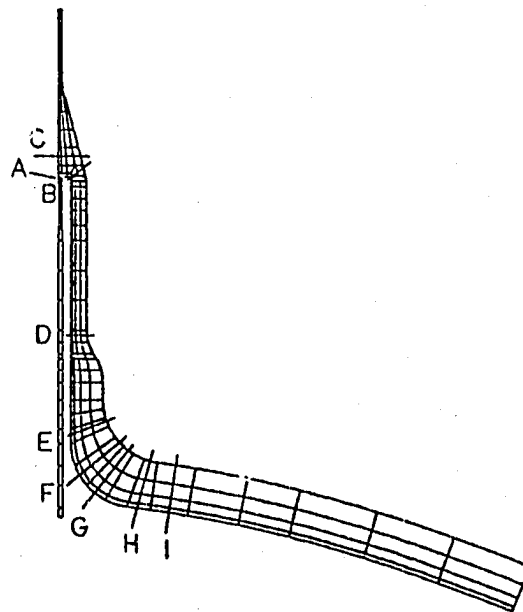


Table 3.2.7 Creep Fatigue Damage according to BDS(Outlet Nozzle)

Location	Tmax	Sn	K	K ϵ	ϵ_n ($\times 10^{-2}$)	ϵ_F ($\times 10^{-2}$)	ϵ_t ($\times 10^{-2}$)	Df	Dc	D
ON-A	620.0	39.01	2.11	4.46	0.261	0.107	1.271	79.1	38.8	117.9
ON-B	620.0	37.70	1.09	2.02	0.252	0.102	0.611	18.0	18.2	36.2
ON-C	620.0	58.61	1.00	2.26	0.392	0.069	0.954	47.2	27.5	74.5

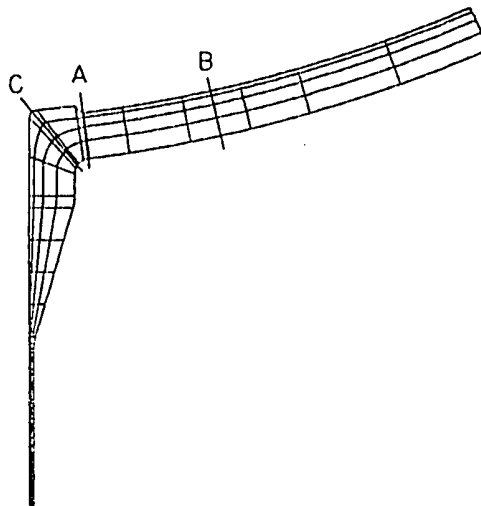


Table 3.2.8 Creep Fatigue Damage according to BDS(Skirt)

Location	Tmax	Sn	K	K ϵ	ϵ_n ($\times 10^{-2}$)	ϵ_F ($\times 10^{-2}$)	ϵ_t ($\times 10^{-2}$)	Df	Dc	D
SK-A	620.0	71.79	1.00	2.40	0.480	0.099	1.248	76.8	38.0	114.8
SK-B	549.0	85.08	1.17	2.82	0.542	0.001	1.531	73.9	43.7	117.6
SK-C	620.0	51.53	1.09	2.35	0.344	0.135	0.945	46.4	27.2	73.6
SK-D	620.0	55.51	1.03	2.28	0.371	0.116	0.963	48.1	27.8	75.9
SK-E	620.0	63.38	1.02	2.36	0.424	0.100	1.101	61.8	32.4	94.2
SK-F	620.0	60.38	1.03	2.35	0.404	0.128	1.077	59.3	31.5	90.9

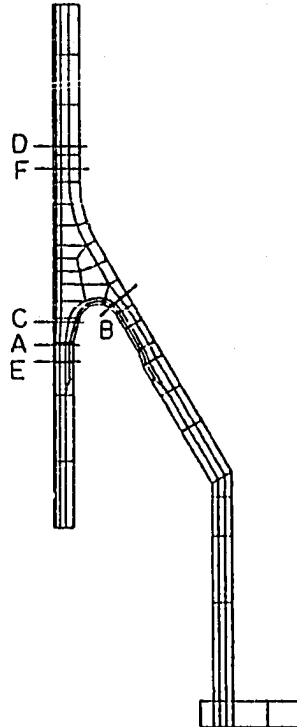


Table 3.2.9 Creep Fatigue Damage according to BDS (Inner Shell Weldment)

Location	Tmax	Sn	K	K ϵ	ϵ_n ($\times 10^{-2}$)	ϵ_F ($\times 10^{-2}$)	ϵ_t ($\times 10^{-2}$)	Df	Dc	D
IW-A	620.0	81.77	1.00	2.47	0.547	0.176	1.526	107.6	49.3	156.9
IW-B	620.0	79.58	1.00	2.45	0.532	0.145	1.451	98.8	46.0	144.9
IW-C	620.0	74.26	1.00	2.42	0.496	0.147	1.346	87.1	41.8	128.9
IW-D	620.0	72.01	1.00	2.40	0.481	0.096	1.250	77.0	38.0	115.0
IW-E (A-B)	620.0	80.68	1.00	2.46	0.539	0.161	1.488	103.2	47.6	150.8
IW-F (B-C)	620.0	76.92	1.00	2.44	0.514	0.145	1.398	92.9	43.9	136.8
IW-G (C-D)	620.0	73.14	1.00	2.41	0.489	0.121	1.298	82.0	39.9	121.9

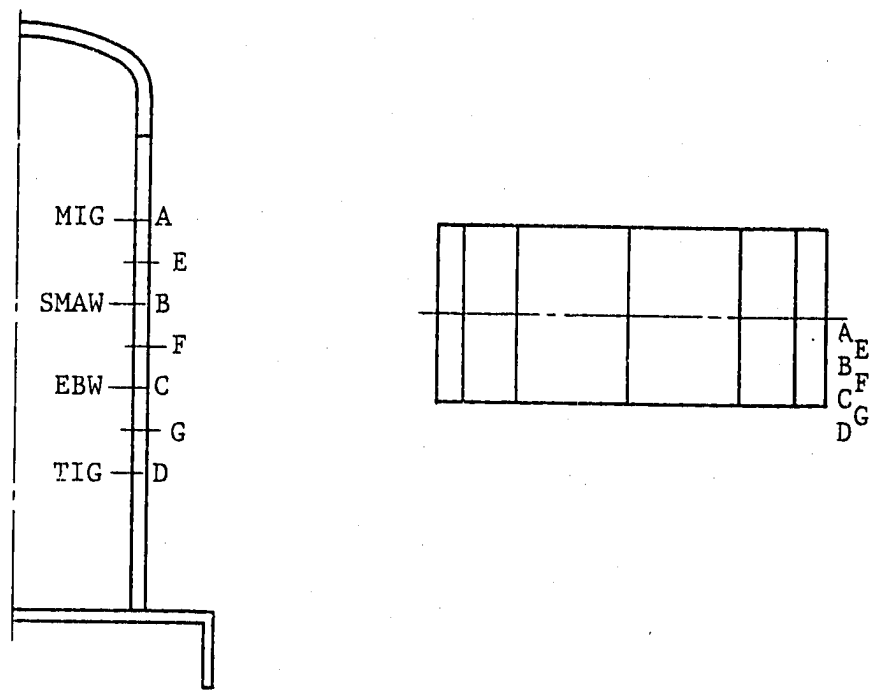
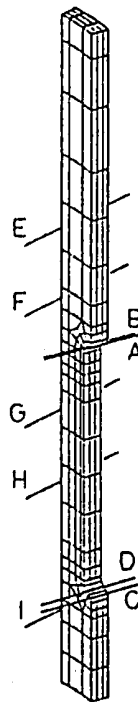


Table 3.2.10 Creep Fatigue Damage according to BDS(Slitted Cylinder)

Location	Tmax	Sn	K	K ϵ	ϵn ($\times 10^{-2}$)	ϵF ($\times 10^{-2}$)	ϵt ($\times 10^{-2}$)	Df	Dc	D
SL-A	620.0	115.7	1.00	2.625	0.773	0.111	2.142	190.0	80.8	270.8
B	620.0	111.1	1.00	2.609	0.743	0.111	2.050	176.5	75.8	252.3
C	620.0	88.73	1.00	2.511	0.593	0.140	1.629	120.0	540.0	174.1
D	620.0	86.53	1.00	2.498	0.578	0.139	1.584	114.6	51.9	166.5
E	620.0	37.87	1.00	1.853	0.253	0.260	0.730	27.5	21.0	48.5
F	620.0	47.07	1.00	2.078	0.315	0.262	0.916	43.7	26.4	70.1
G	620.0	42.43	1.00	1.977	0.284	0.281	0.842	37.3	24.2	61.5
H	620.0	38.32	1.00	1.867	0.256	0.324	0.802	34.0	23.1	57.1
I	620.0	42.34	1.00	1.975	0.283	0.306	0.865	39.2	24.9	64.1



3. 3 評価結果と試験結果

各評価部位毎に評価点の評価結果と試験結果（き裂データ）との対応をTable 3.3.1 ～ 5 に示す。

(1) 入口ノズル

熱遮蔽板付根部廻り流路側では、熱遮蔽板付根には周方向き裂が、付け根よりやや上部のノズルテーパ部内側には軸方向き裂が見られる。この部分の流路側の長さ方向に沿った軸方向と周方向の応力成分の分布を見ると、付け根部のごく近傍では軸方向応力範囲のほうが大きい、他の部分では周方向応力範囲のほうが大きくなっている。き裂は卓越する垂直応力方向に直交する方向に生じている。

流路側付け根部近傍では軸方向応力と周方向応力が逆符号であり相当応力が大きくなっており、主流路に沿う領域のうちこの部分で極大値をとる。TTSDSによる損傷値は、この部分で2.92と大きくなっており、き裂は板厚を貫通している。

熱遮蔽板付け根部R部では、TTSDSによる損傷値は1.57であり、き裂はR部の径方向に進展しており深さは5.0mmである。

入口ノズルコーナ部廻りでは、クロッチ部で軸方向き裂が、上鏡との溶接部では周方向き裂が見られる。入口ノズルコーナ部廻りの応力分布をみると、クロッチ部では周方向応力が卓越しているのに対し、上鏡との溶接部（SMAW）では周方向応力と軸方向応力が同程度である。また応力範囲ではクロッチ部のほうが溶接部よりもやや大きい。き裂は卓越する垂直応力方向に直交する方向に生じている。

TTSDSによる損傷値では、クロッチ部のほうが1.10と上鏡とノズルの溶接部ノズル側の1.04より大きい、き裂深さはクロッチ部が5.0mmに対し、溶接部ノズル側のほうが21.8mmと大きい。

(2) 出口ノズル

ノズルと下鏡の溶接部（SMAW）内側のR仕上げ（5R）鏡側端部に深さ0.9mm程度の浅い周方向き裂がある。この部分のTTSDSによる損傷値は1.13程度である。

ノズルコーナ部はTTSDSによる損傷値は0.61程度であるが、き裂は観察されなかった。

(3) スカート

脚部付根R部内面に発生する応力は、板厚内温度分布がほとんど無いため胴部と脚部の

部材間温度差による曲げが主要因となる。脚部付根R部内面においては、応力レンジはかなり大きいが高温度は高温側ナトリウム温度まで達しないので、TTSDSによる損傷値は0.95となる。き裂は周方向に極浅くある程度である。2断面での観察の結果、深さは約0.4mmであった。

胴部内面では板厚内温度分布により生じる曲げが応力発生のものであるが、胴部と脚部の部材間温度差による曲げも重畳したものとなっている。付け根より上部では周方向応力付け根より下部では軸方向応力成分が相対的に大きくなっている。

胴部内面においては、TTSDSによる損傷値は1.03程度であるが、シンニング部R端にかなり深いき裂が周方向にあった。断面観察の結果、約16.2mm程度であった。

今回の解析はシンニング形状はモデル化せず胴部内面を面一でモデル化している。一方内面のき裂のある場所はシンニング加工のため板厚が薄くなり、胴部と脚部の剛性のバランスで生じる応力の大きさが脚部側で大きくなること、シンニングのR端部であるため形状不連続による応力集中があること、の理由で今回の解析で得られた損傷値に比較して深いき裂になった可能性がある。

(4) 内筒溶接部

内筒には4種類の溶接方法による周溶接が取り入れられている。

当初は各溶接部の仕上げの効果を見るため、半周を溶接仕上げとし、残りの半周を仕上げをしないという形とする予定であったが、溶接後の非破壊検査上、仕上げをしないままでは都合の悪い溶接部があった。このため最終的には、MIG及びSMAWでは全周仕上げ、EBW及びTIGでは半周仕上げとなった。

今回の解析は余盛及び裏波の形状を模擬しない平滑モデルで実施しており、形状の不連続は解析モデル化上入っていない。

また現在のところ内筒は軸方向2断面(0°, 180°)しか観察していないので表には仕上げ側き裂のうち大きいほうのき裂長さを記載した。溶接による差の定量的な検討には、さらに何断面かのき裂深さを観察する必要がある。

今回の観察の範囲では、溶接部とその近くの母材を比較すると、PTの結果及び縦断面のき裂の深さの観察結果から定性的には、各溶接の強度はMIG、SMAWは母材並であり、EBW、TIGは母材より弱い傾向にある。従って、本試験結果のみからは、MIGとSMAW溶接が強度上好ましいと考える。

MIGでは全周仕上げをしており、この部分については溶接部の溶金と母材の境界より母材側で周方向き裂が発生している。

SMAWでは全周仕上げをしており、この部分については溶接部の溶金と母材の境界より母材側で周方向き裂が発生している。

EBWで仕上げがない部分については、形状的に不連続である両側の止端部から周方向き裂が入っている。仕上げをしている部分については溶接部の溶金と母材の境界より母材側で周方向き裂が発生している。

TIGで仕上げがない部分については、形状的に不連続である両側の止端部から周方向き裂が入っている。仕上げをしている部分については溶接部の溶金と母材の境界より溶金側で周方向き裂が発生している。

溶接部においては残留応力の影響は避けられない。しかし残留応力の大きさの程度はただか降伏応力程度であり、熱過渡試験で受ける応力範囲が大きいため、その影響は比較的小さいと考えられる。

SMAWとEBWの溶接間母材部に遠目には周方向一列にき裂につながったように見える場所があった。この原因については現状不明であるが、次のことが考えられる。この部分をよく観察すると必ずしも一直線につながっているわけではないため、製作時の周方向加工キズによるものではない。き裂近傍縦断面の観察結果からは、製作時の補修溶接というような材料的な不連続があるわけではない。他の溶接間母材部にはこのような形のき裂はないため、両側の溶接の残留応力の重疊が影響する可能性は考えにくい。境界条件についても熱遮蔽板の周方向の境目がこの高さにあるわけでもなく、ここだけ他の部分に比較して流れ込みがあったとは考えにくい。また他の母材部と比較してこの部分のき裂が特に深いというわけではなかった。

(5) スリット入り円筒胴

当初円筒胴には積層板を用い積層板下端に急激な軸方向温度差をつけることにより軸方向温度分布による応力を発生させることをねらっていた。しかし、積層板と円筒胴の間へのナトリウムの流れ込みがあったため、急激な軸方向温度差をつけることはできず、全体にわたって緩やかな軸方向温度分布となった。そのため円筒胴の応力としては全体として板厚方向温度差によるものが主体となっている。

これは円筒の場合、等2軸に近い応力場となるものであり、スリットR部廻りの応力場は等2軸場に円孔のあるモードに近い。このためスリットR部廻りのき裂は半径方向に発生しているものと考えられる。TTSDSによる損傷値は、スリット上部のR部で2.49、スリット下部のR部で1.72となっている。き裂についても、上部のR部のき裂が

下部のR部のき裂より大きくなっている。

円筒胴にスリット状の開口部を設けることにより、スリット近傍では周方向応力が開放される。スリット間のリガメントの中央部においても、スリットによる周方向応力開放の影響が見られ、内表面で応力成分を比較すると、周方向応力は軸方向応力の1/2程度になっている。スリット間リガメント部で周方向き裂のみ存在するのはこの理由によるものと思われる。TTSDSによる損傷値は0.68であり、き裂は深さ0.5mmである。

円筒胴において、スリット孔上端より上側及びスリット下端より下側の縦継手(TIG)で溶接部に軸方向のき裂があった。TTSDSによる損傷値は、上部で0.97、下部で0.86となっている。き裂については、上部で7.5mm、下部で7.0mmとなっている。

なお今回の解析では、3次元解析の総節点数の制約から、スリット廻りの面取り(2mm程度)は解析上モデル化していない。

(6) 従来データとの比較

今回の試験結果に基づく、TTSDSによるクリープ疲労損傷値と最終き裂長さとの対応を、各部位毎にFig. 3.3.1～5に示す。き裂位置の母材部と溶接部の区別についてはシンボルで示している。また、各シンボルにつけたアルファベットは各部位におけるTable 3.3.1～5に示した評価点位置に対応したものである。^(注1)

TTSDSによるクリープ疲労損傷値と最終き裂長さとの対応を母材部と溶接部についてまとめたものをそれぞれFig. 3.3.6, 7に示す。両者は良好な対応関係を示している。

TTSDSによるクリープ疲労損傷値と最終き裂長さとの対応を母材部と溶接部について従来のデータと比較したものをそれぞれFig. 3.3.8, 9に示す。今回の試験結果は、従来のTTS試験による従来データと整合している。ここで、従来データとは、「熱過渡強度データのまとめ」のなかで示されているTTS試験体のTTSDSによるクリープ疲労損傷値と最終き裂長さとの対応をいう。

注1. SN9410 87-176 参照。

Table 3.3.1 Creep Fatigue and Crack(Inlet Nozzle)

LINE	D(TTSDS)	D(BDS)	深さ(mm)	方 向	位 置	備 考
IN-A	2.92	483.1	3.8	周	母 材	
IN-B	1.57	230.5	5.0	周	母 材	
IN-C	1.33	139.7	2.9	軸	母 材	
IN-D	0.54	58.5	4.3	周	母 材	
IN-E	0.84	62.8	9.7	軸	母 材	
IN-F	1.07	105.1	7.9	軸	母 材	
IN-G	1.10	117.2	5.0	軸	母 材	
IN-H	1.04	90.8	21.8	周	溶 接	SMAW 仕上げ
IN-I	0.72	53.7	3.1	周	溶 接	SMAW 仕上げ

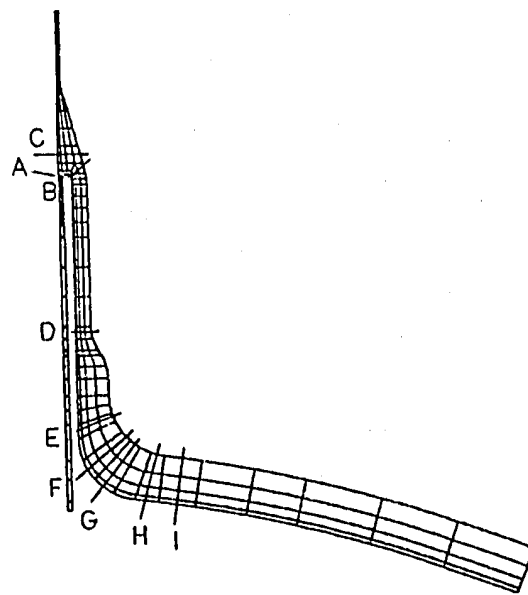


Table 3.3.2 Creep Fatigue Damage and Crack (Outlet Nozzle)

LINE	D(TTSDS)	D(BDS)	深さ(mm)	方向	場所	備考
ON-A	1.13	117.9	0.9	周	溶接	SMAW 仕上げ
ON-B	0.47	36.2	0	—	母材	
ON-C	0.61	74.8	0	—	母材	

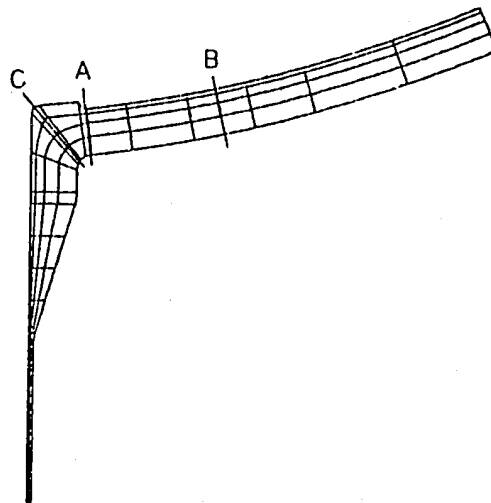


Table 3.3.3 Creep Fatigue Damage and Crack(Skirt)

LINE	D(TTSDS)	D(BDS)	深さ(mm)	方 向	場 所	備 考
SK-A	1.03	114.8	16.2	周	母 材	シニング 加工R部
SK-B	0.95	117.6	0.4	周	母 材	
SK-C	0.87	73.6	2.0	周	母 材	
SK-D	0.97	75.9	0.8	周	母 材	シニング 加工R部
SK-E	0.89	94.2	0	——	溶 接	TIG
SK-F	1.06	90.9	0	——	溶 接	TIG

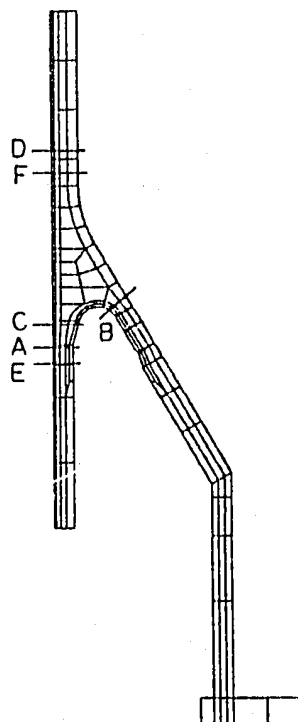


Table 3.3.4 Creep Fatigue Damage and Crack(Inlet Shell Weldment)

LINE	D(TTSDS)	D(BDS)	深さ(mm)	方 向	場 所	備 考
IW-A	1.82	156.9	9.8	周	溶 接	MIG 仕上げ
IW-B	1.65	144.9	8.0	周	溶 接	SMAW 仕上げ
IW-C	1.48	128.9	8.7	周	溶 接	EBW 仕上げ
IW-D	1.26	115.0	11.1	周	溶 接	TIG 仕上げ
IW-E	1.74	150.8	4.6	周	母 材	MIG- SMAW間
IW-F	1.56	136.8	8.6	周	母 材	SMAW- EBW間
IW-G	1.36	121.9	7.0	周	母 材	EBW- TIG間

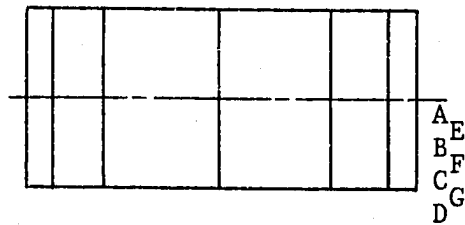
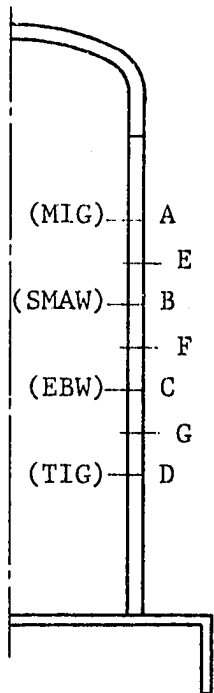
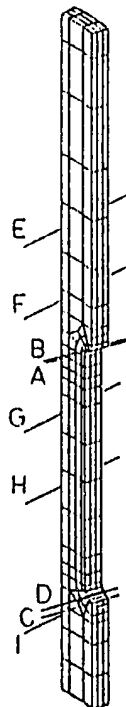


Table 3.3.5 Creep Fatigue Damage and Crack(Slitted Cylinder)

LINE	D(TTSDS)	D(BDS)	深さ(mm)	方 向	場 所	備 考
SL-A	2.49	270.8	12.5 (×22.0)	放 射	母 材	
SL-B	2.28	252.3	14.5 (×39.5)	放 射	母 材	
SL-C	1.72	174.1	8.0 (×22.0)	放 射	母 材	
SL-D	1.59	166.5	8.0 (×23.0)	放 射	母 材	
SL-E	0.75	48.5	7.5	軸	溶 接	TIG
SL-F	0.97	70.1	7.5	軸	溶 接	TIG
SL-G	0.68	61.5	5.5	周	母 材	
SL-H	0.66	57.1	5.5	周	母 材	
SL-I	0.86	64.1	7.0	軸	溶 接	TIG



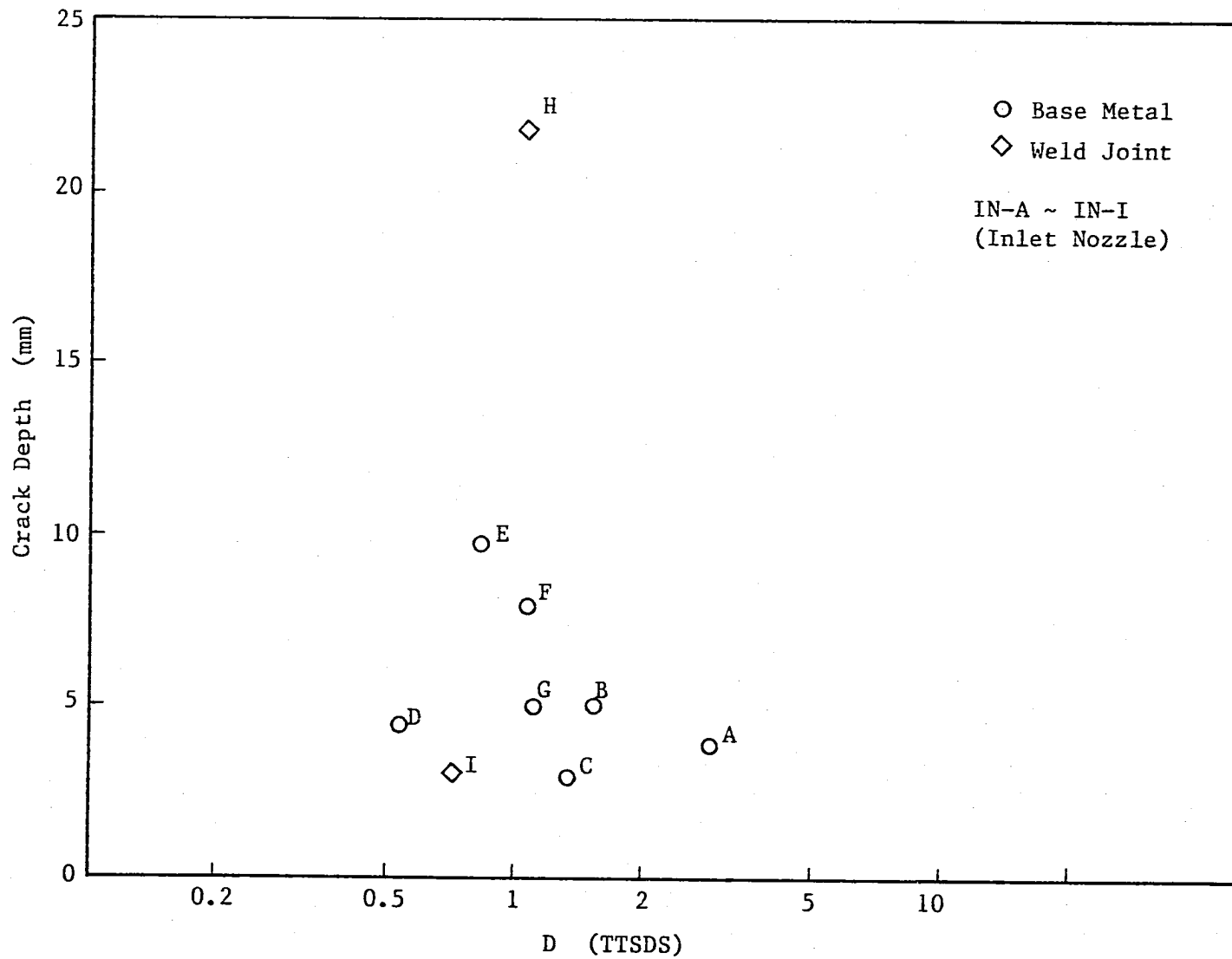


Fig. 3.3.1 D-a Relation (Inlet Nozzle)

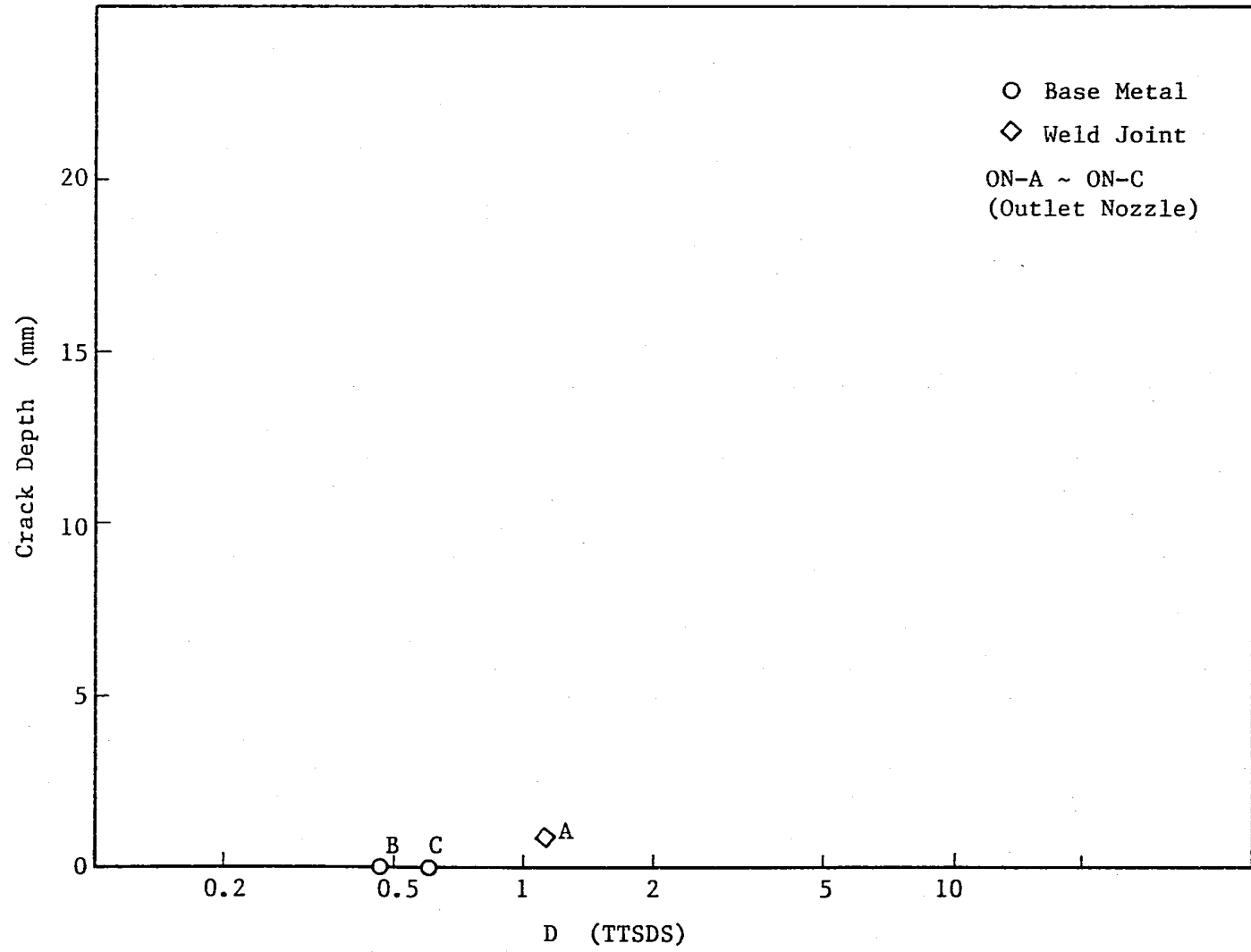


Fig. 3.3.2 D-a Relation (Outlet Nozzle)

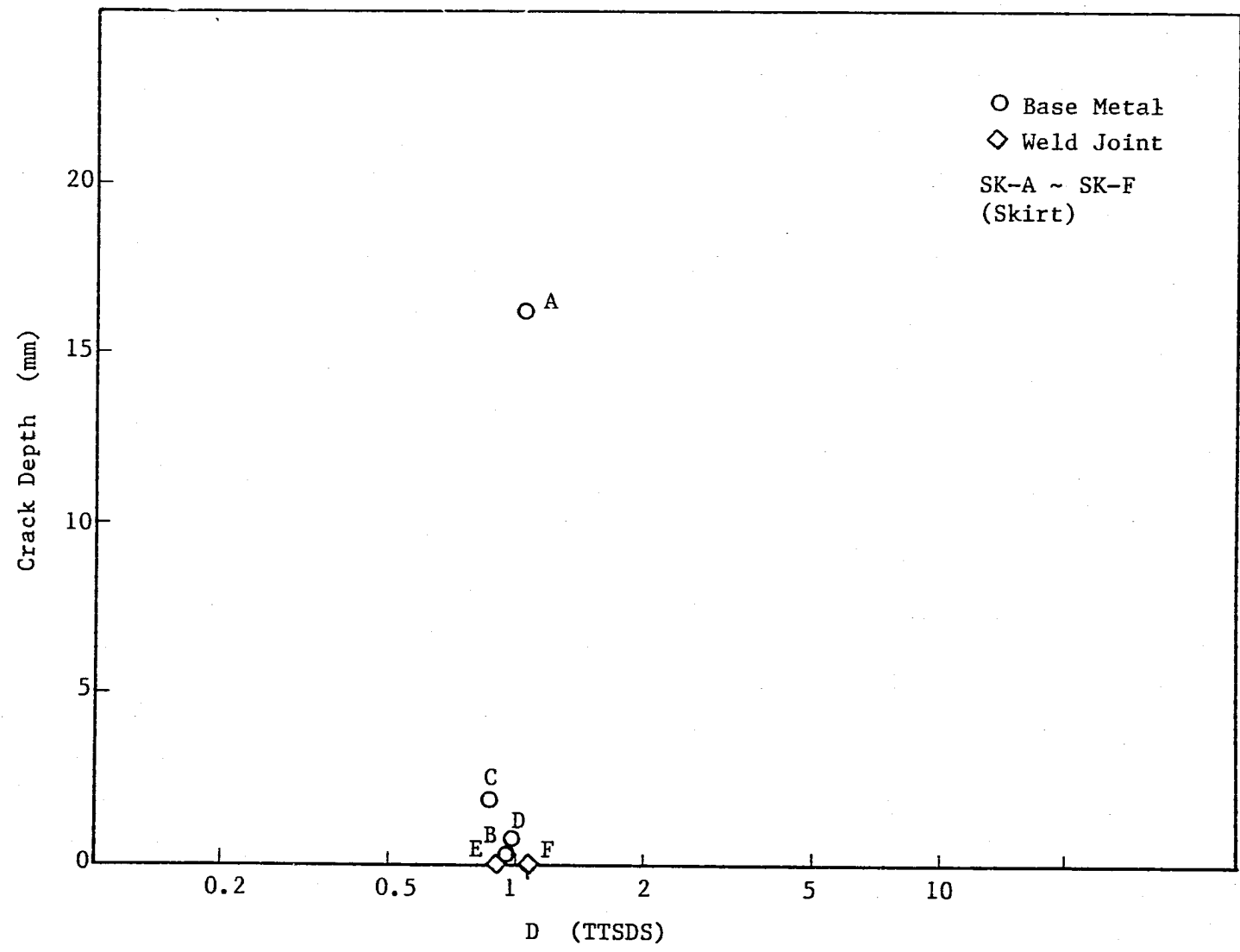


Fig. 3.3.3 D-a Relation (Skirt)

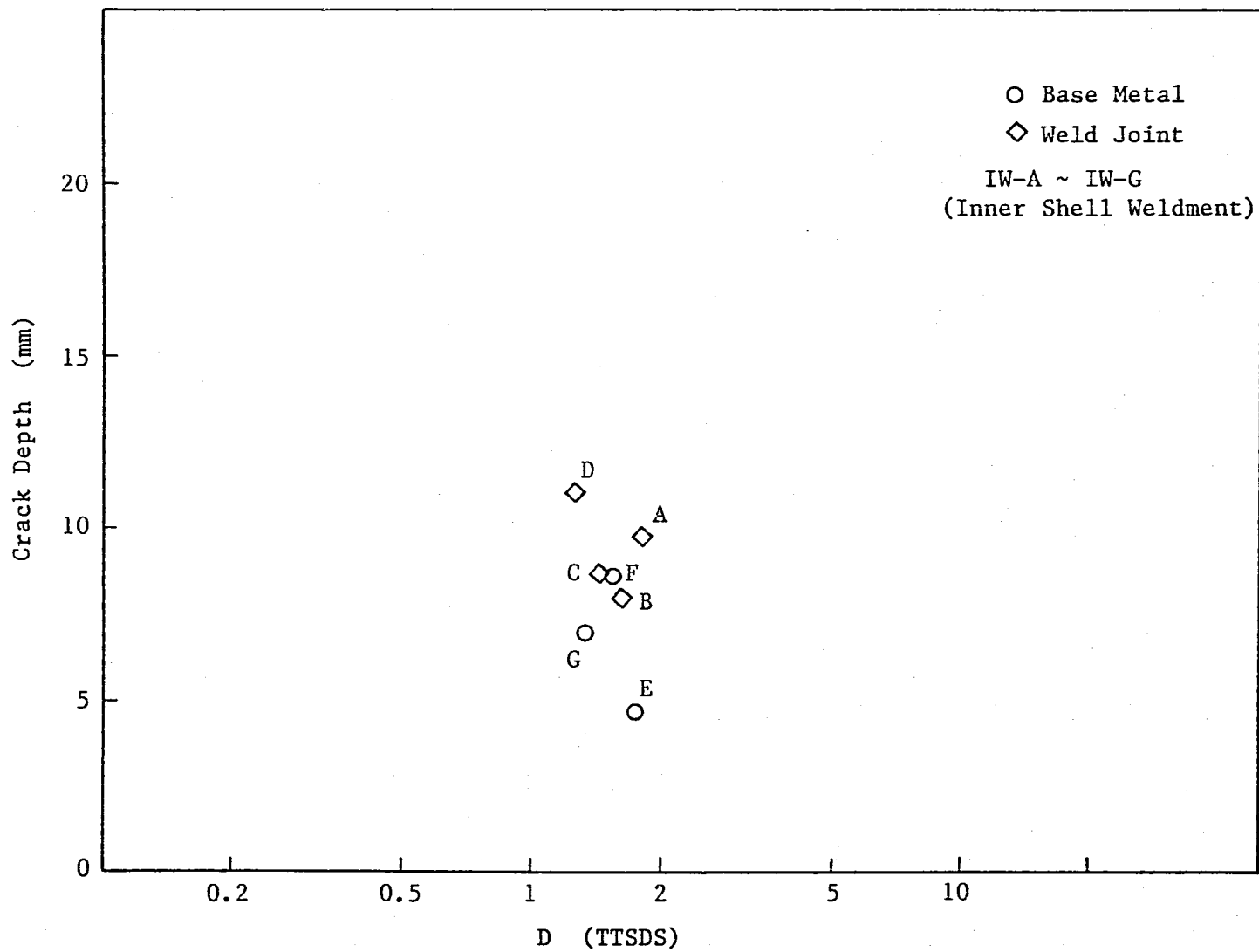


Fig. 3.3.4 D-a Relation (Inner Shell Weldment)

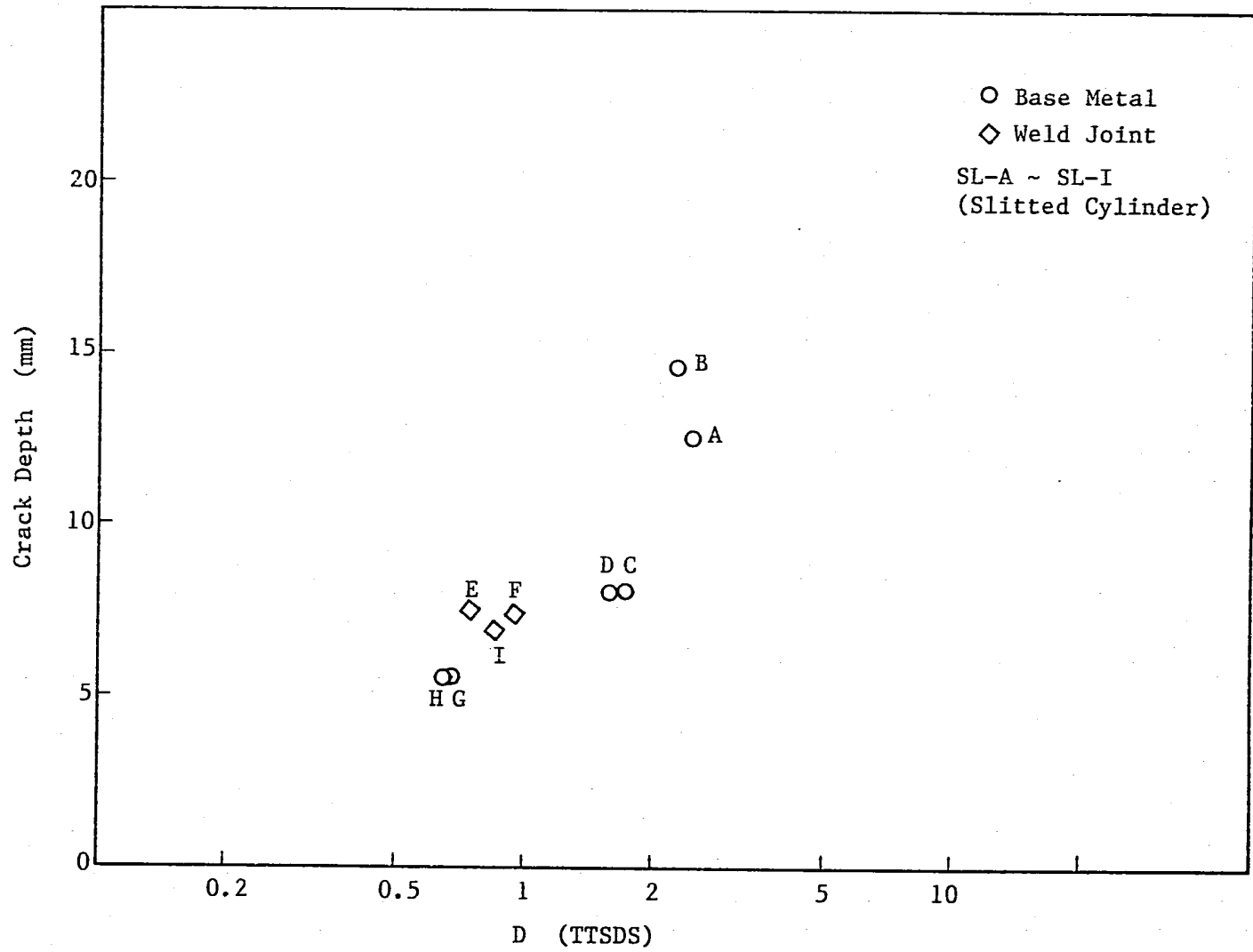


Fig. 3.3.5 D-a Relation (Slitted Cylinder)

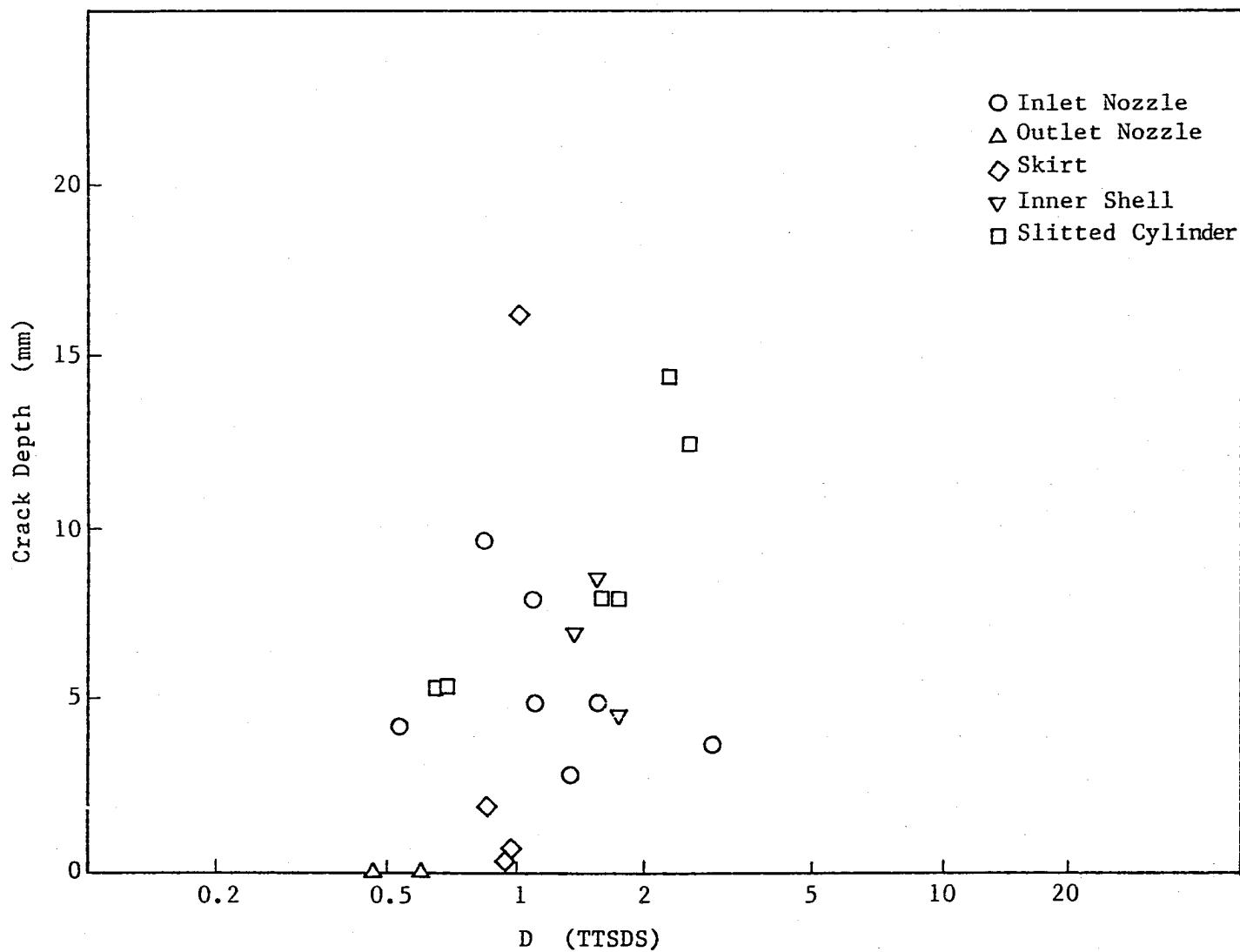


Fig. 3.3.6 D-a Relation (Base Metal)

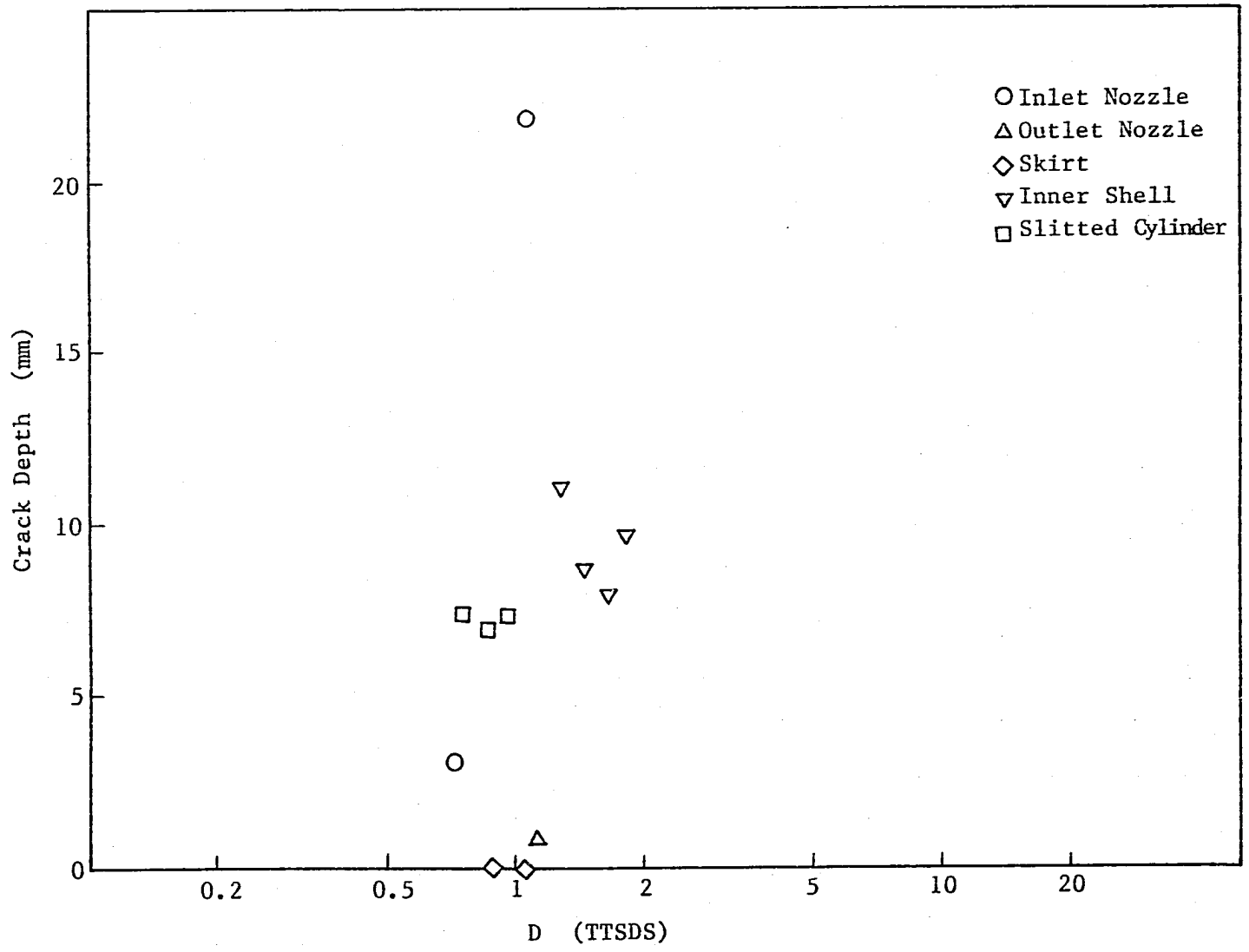


Fig. 3.3.7 D-a Relation (Weld Joint)

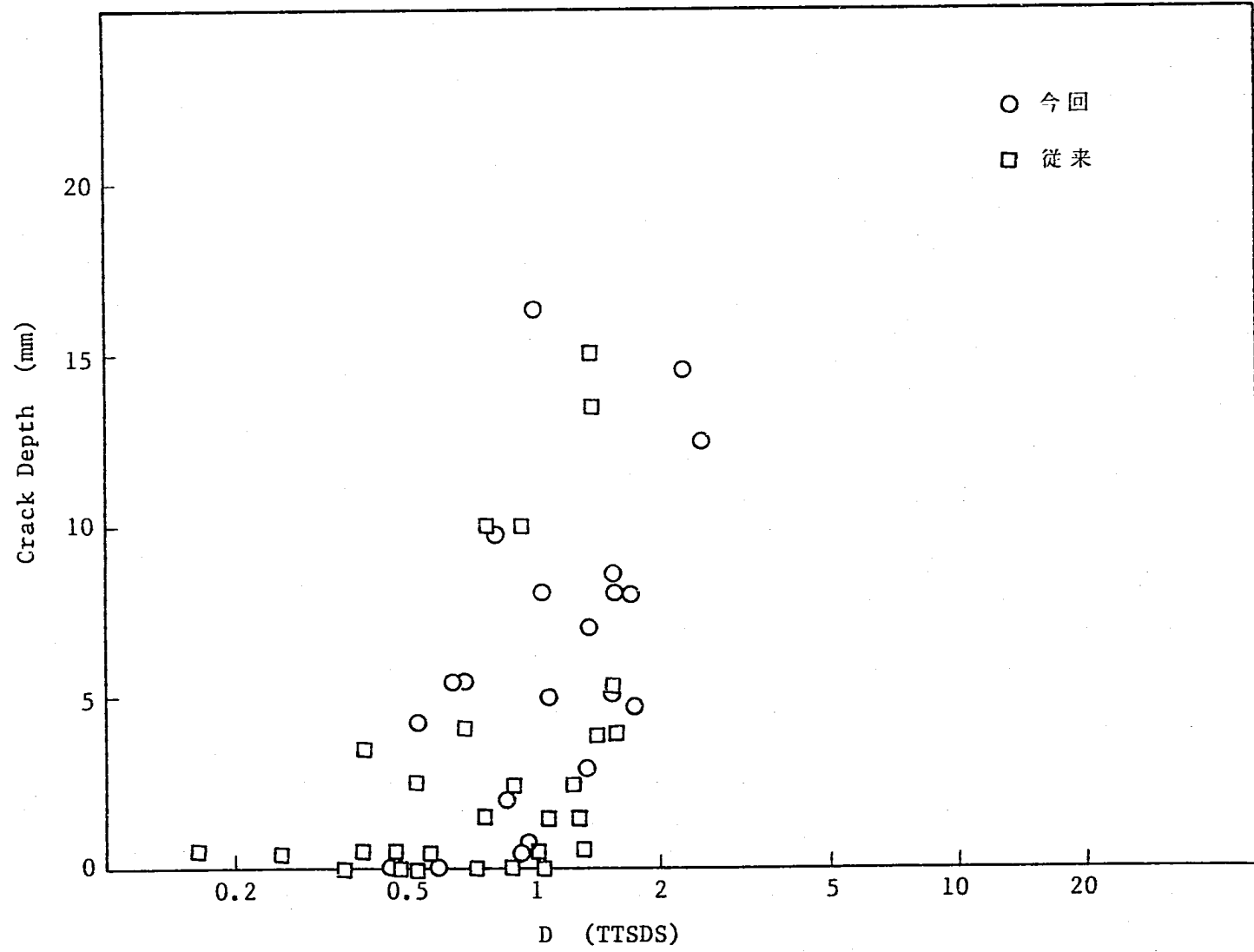


Fig. 3.3.8 Comparison of D-a Relation (Base Metal)

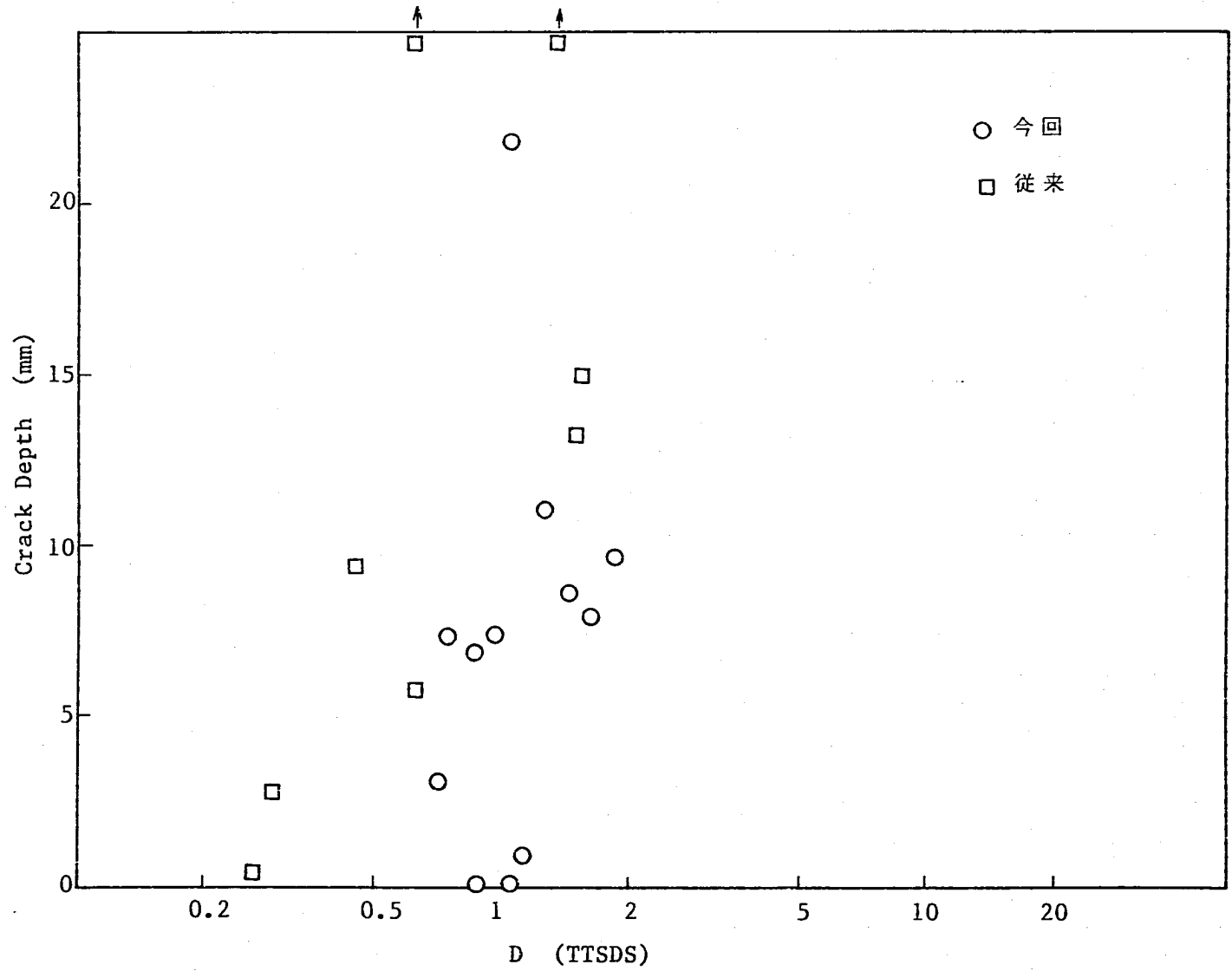


Fig. 3.3.9 Comparison of D-a Relation (Weld Joint)

4. 検 討

4. 1 検討項目

(1) 応力成分とき裂の方向の対応について

入口ノズルでは場所によりき裂の卓越する方向が異なるが、これが応力成分と対応があるのか検討を行った。

入口ノズルの内面の浸透探傷結果をPhoto 4.1.1 に示す。

熱遮蔽板付根部廻り流路側の長さ方向に沿った軸方向と周方向の応力成分の分布をFig. 4.1.1 に示す。これによると、付け根部のごく近傍では軸方向応力範囲のほうが大きいですが、他の部分では周方向応力範囲のほうが大きくなっている。一方き裂については、熱遮蔽板付根には周方向き裂が、付け根よりやや上部のノズルテーパ部内側には軸方向き裂が観察される。この部分では、き裂は卓越する主応力方向に直交する方向に生じている。

入口ノズルコーナ部廻りの応力成分の分布をFig. 4.1.2 に示す。これによると、クロッチ部では周方向応力が卓越しているのに対し、上鏡との溶接部では周方向応力と軸方向応力が同程度である。一方き裂については、入口ノズルコーナ部廻りでクロッチ部で軸方向き裂が、上鏡との溶接部で周方向き裂が観察される。この部分でも、き裂は卓越する主応力方向に直交する方向に生じている。

ノズルでは一般に溶接部を最大応力発生部位からはずすような構造としているが、溶接部の強度を考えた場合、相当応力が最大相当応力と比較してそれほど小さくない範囲の溶接部については、最大応力成分の方向と溶接線の方向も考慮しておく必要があると思われる。

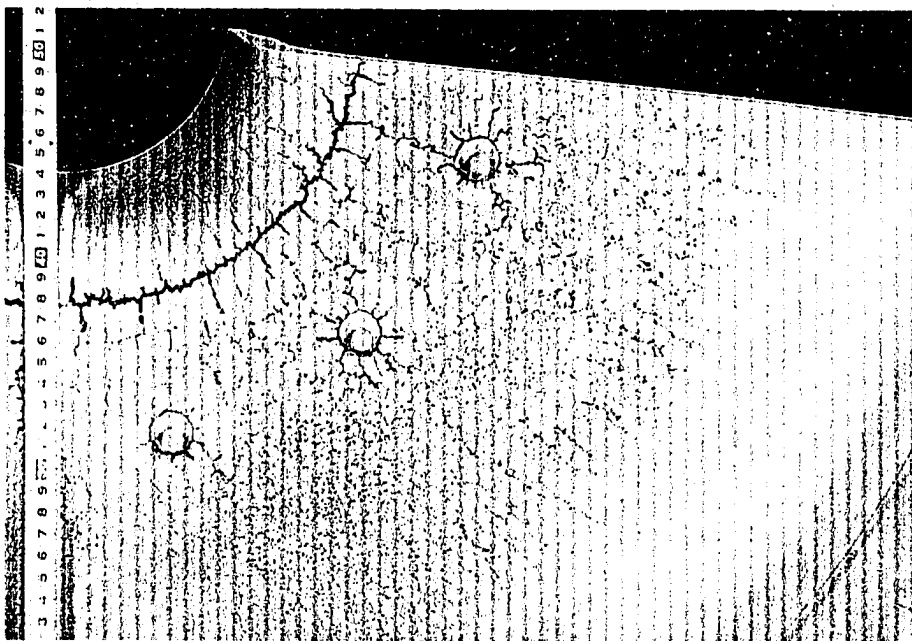
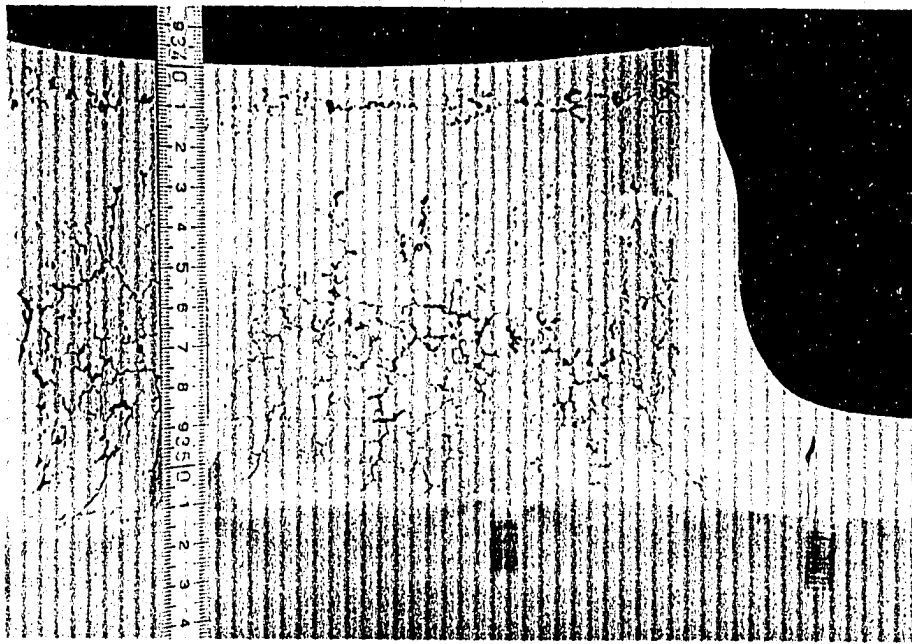


Photo. 4.1.1 Penetration Test of Inlet Nozzle

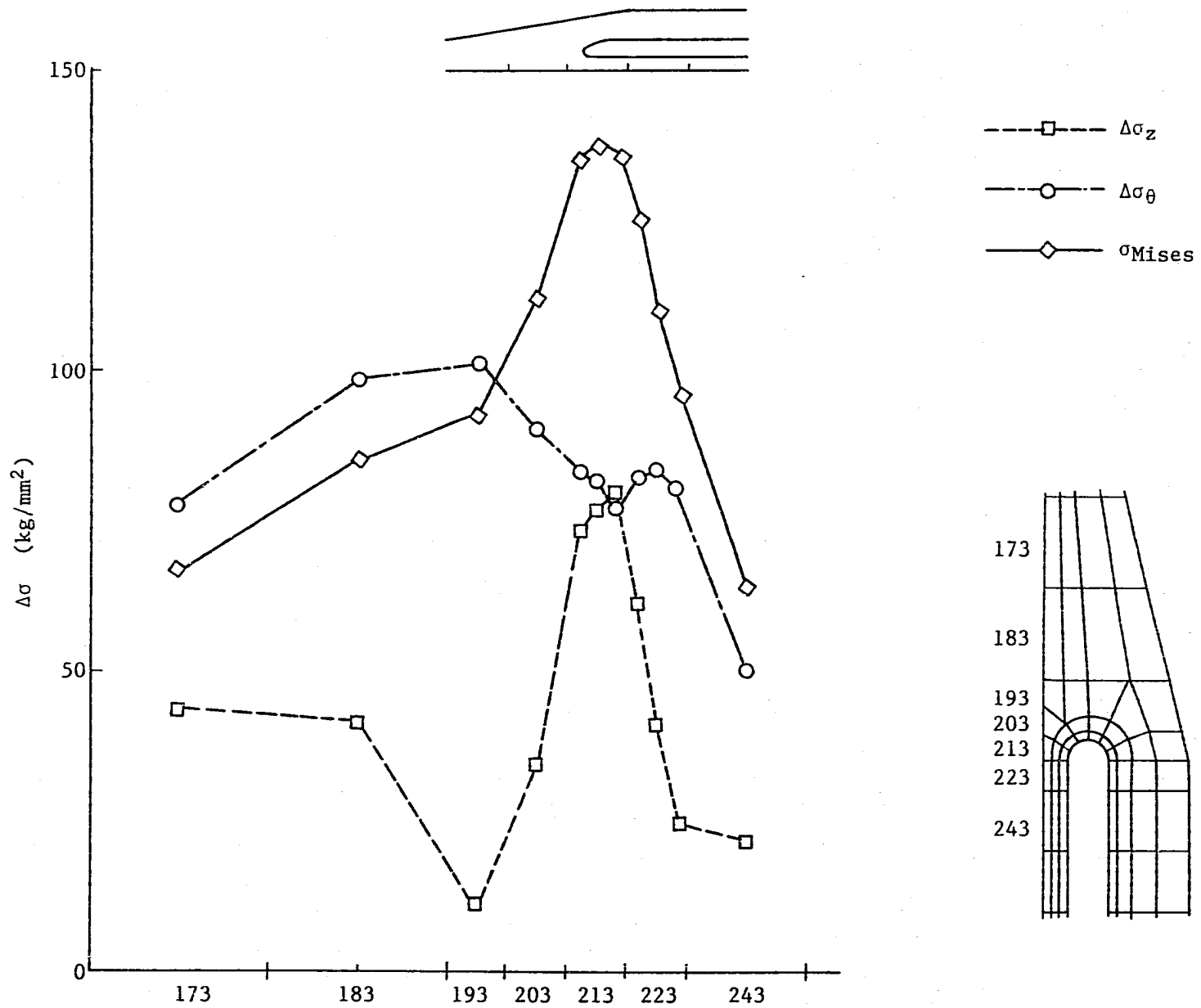


Fig. 4.1.1 Stress Distribution (Liner to Nozzle Junction)

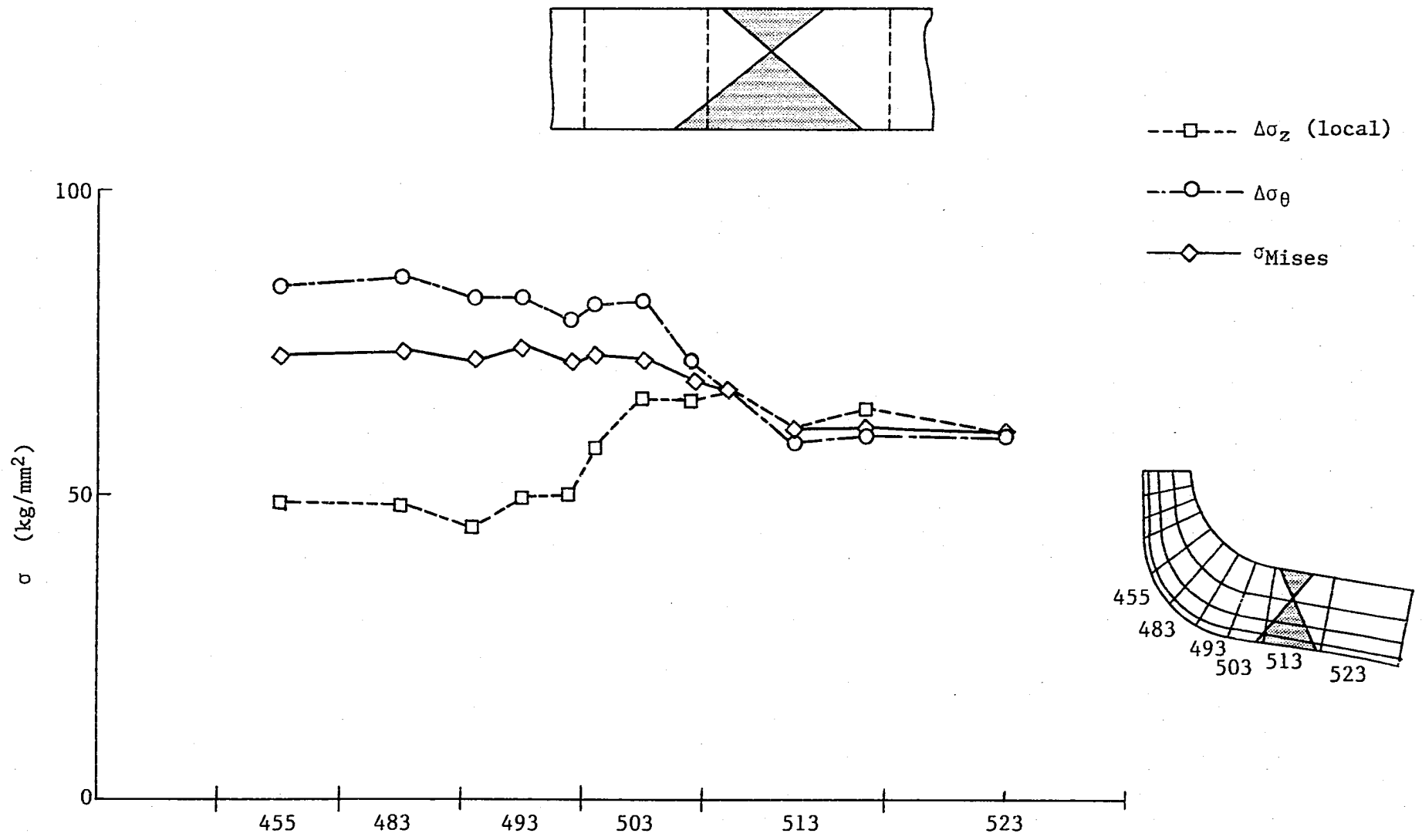


Fig. 4.1.2 Stress Distribution (Nozzle Corner)

(2) 溶接部のき裂

本供試体の内筒溶接には周方向溶接が設けられているが、従来の小型熱過渡試験と T T S 熱過渡試験とでは溶接部の条件が必ずしも同じではない。

小型の熱過渡試験では内面が熱過渡を受ける面となりき裂が入るのは裏波側（初層側）からであるが、本供試体の内筒溶接は外面が熱過渡を受ける面となりき裂が入るのは止端側（最終層側）からとなる。また本供試体の他の部位で内面に熱過渡を受ける部位でも両面からの溶接となり最終層側からき裂が入る。

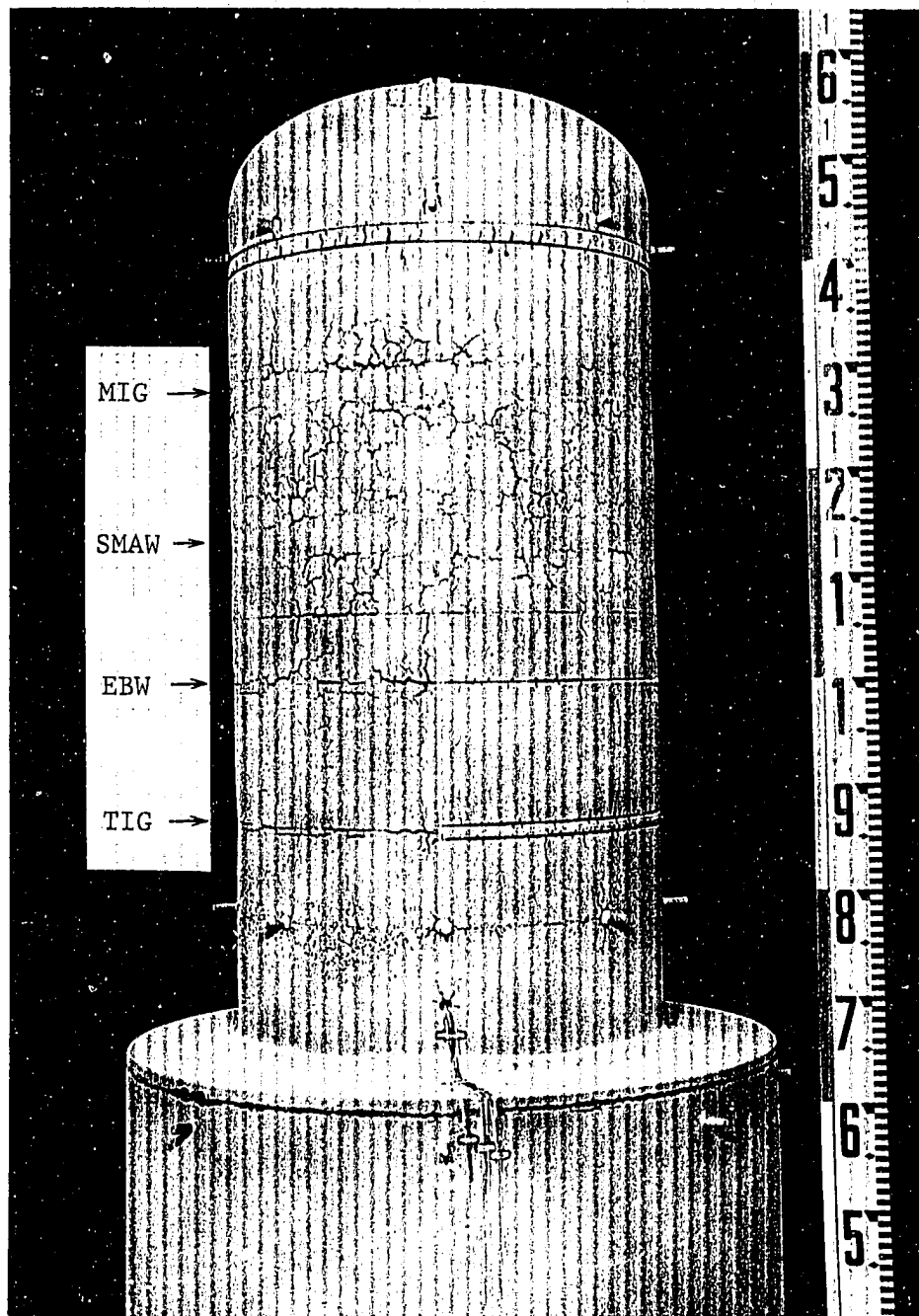
内筒溶接部の外面の浸透探傷結果を Photo 4.1.2 に示す。また、溶接部廻りのき裂の縦断面を Photo 4.1.3 に、そのスケッチを Fig. 4.1.3 に示す。

SMAW（被覆アーク溶接）は本供試体では内筒溶接部の他、上鏡と入口ノズルの溶接部、下鏡と出口ノズルの溶接部に使われており、いずれも溶接仕上げがされている。SMAWではき裂は、溶金と母材の境界より母材側でき裂が発生している。

TIGは本供試体ではほとんどの部分に用いられている。TIGではき裂は仕上げなしの場合は止端部なき裂が見られるが、仕上げありの場合は溶金と母材の境界より溶金側でき裂が発生している。

MIG及びEBW（電子ビーム溶接）は内筒溶接部に用いられるが、き裂の発生位置については、ともにSMAWに近い傾向にある。

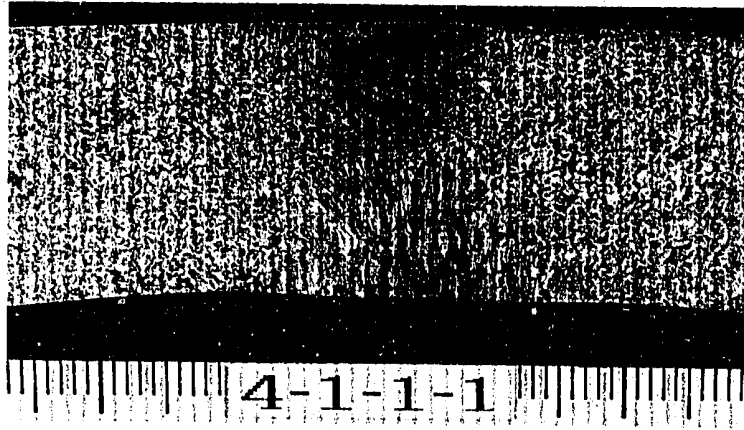
溶接部の強度比較を目的として、表面近傍の硬さの予備計測を行った。この結果を Fig. 4.1.4 に示す。溶金部が軟化しているのは確認できたが、溶金側でき裂があるものと熱影響部でき裂があるものとの差は予備計測の範囲内では表れなかった。



180°方向

Photo. 4.1.2 Penetration Test of Inner Shell Weldment

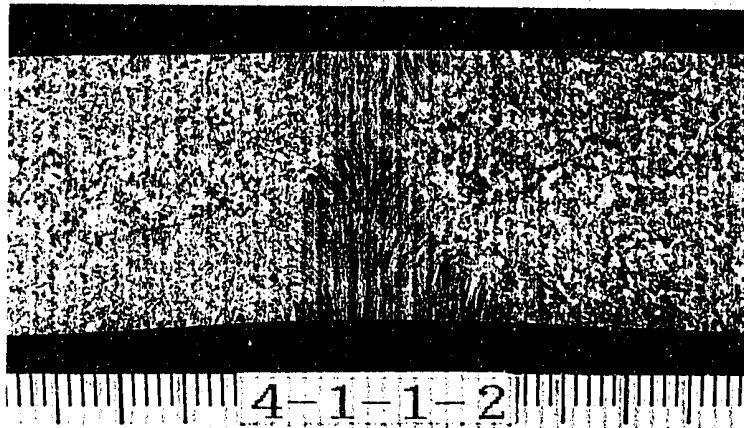
MIG



内面
↑

外面
↓

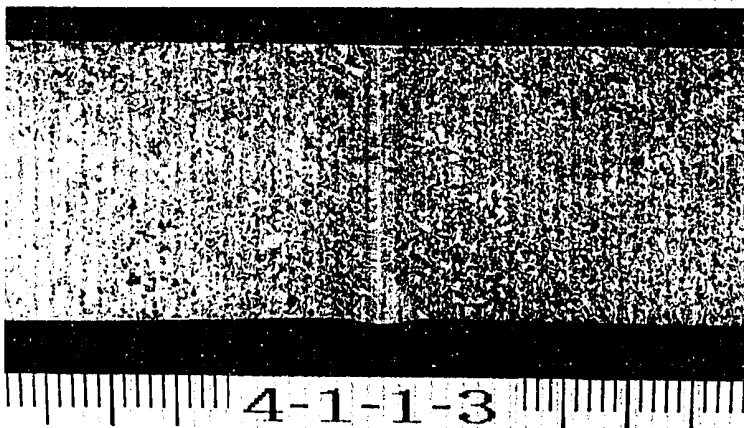
SMAW



内面
↑

外面
↓

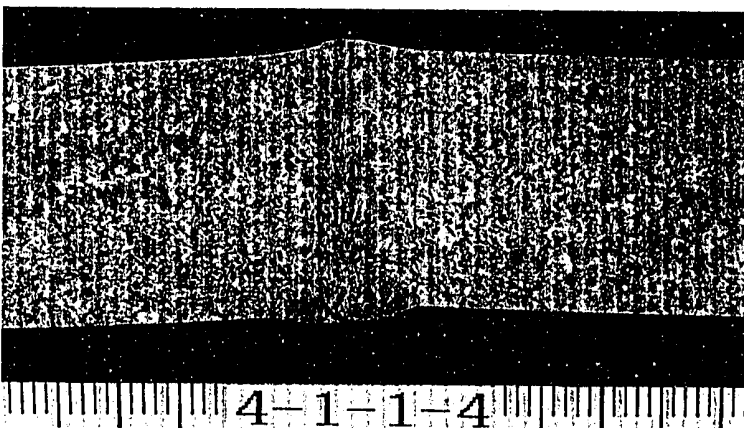
EBW



内面
↑

外面
↓

TIG



内面
↑

外面
↓

Photo. 4.1.3 Section of Inner Shell Weldment

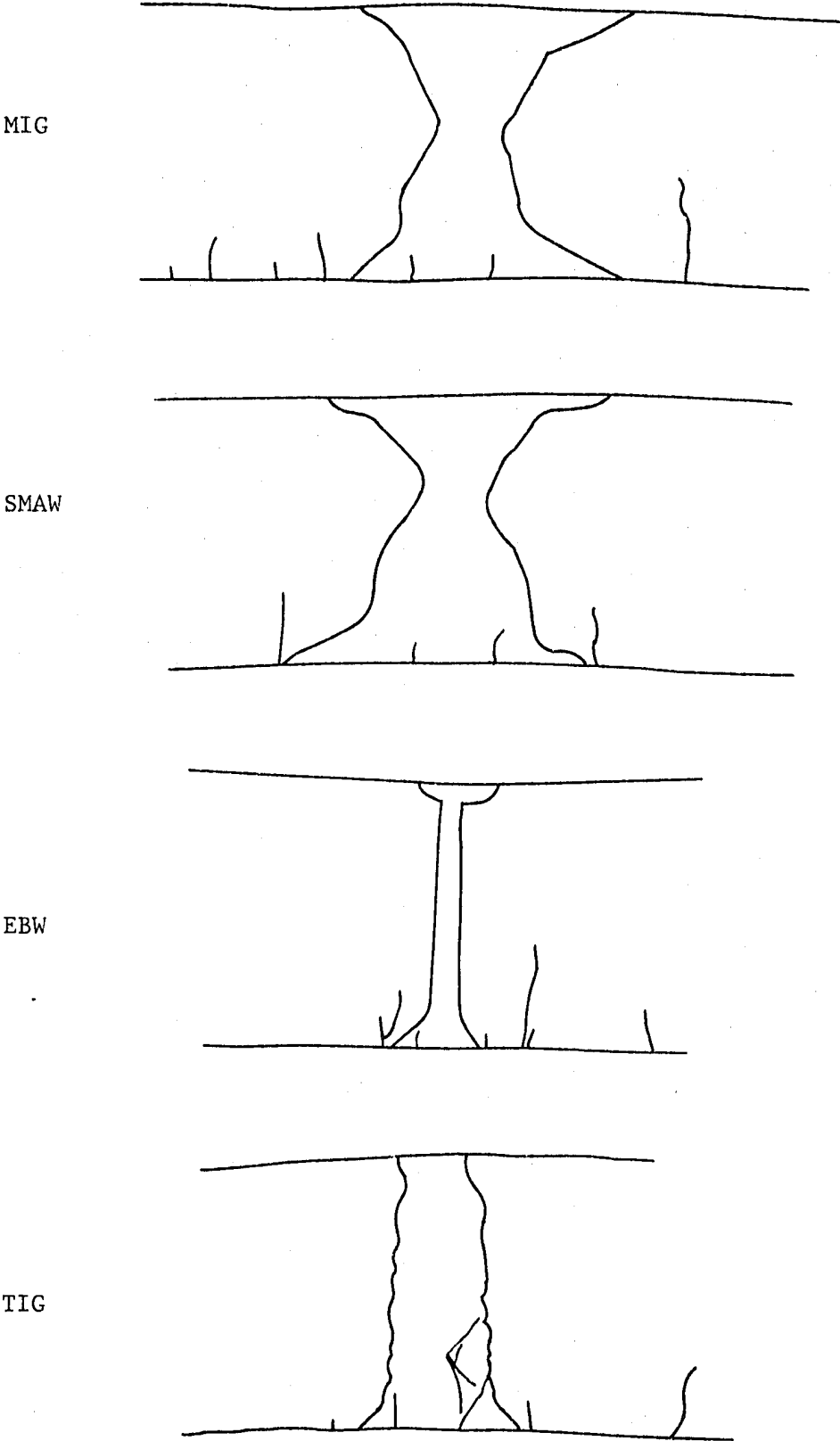
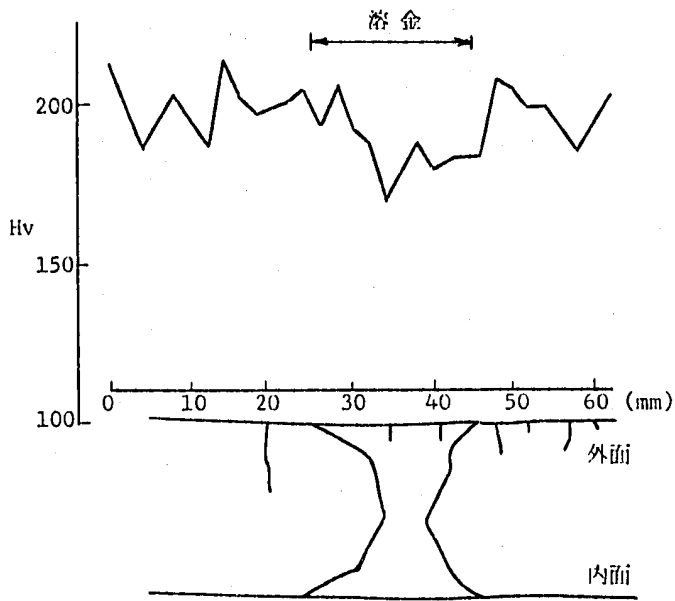
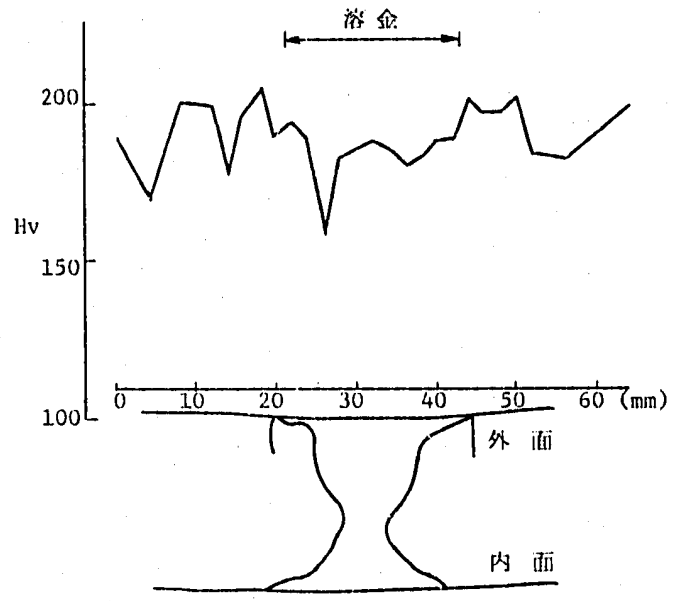


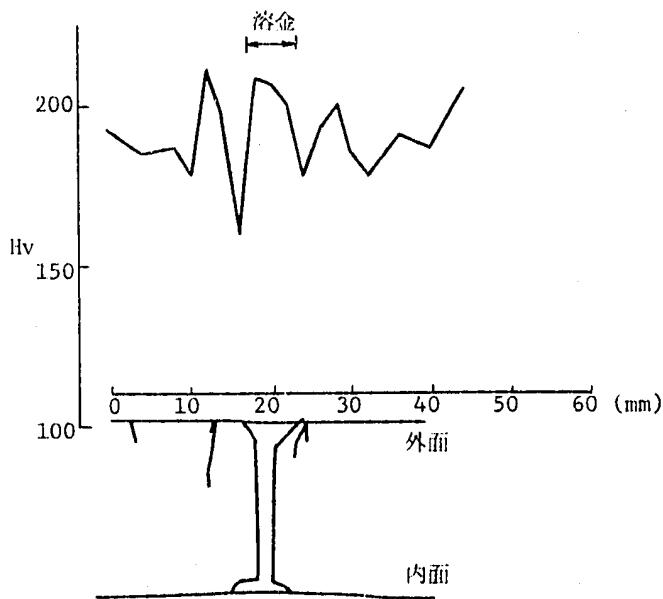
Fig. 4.1.3 Section Sketch of Inner Shell Weldment



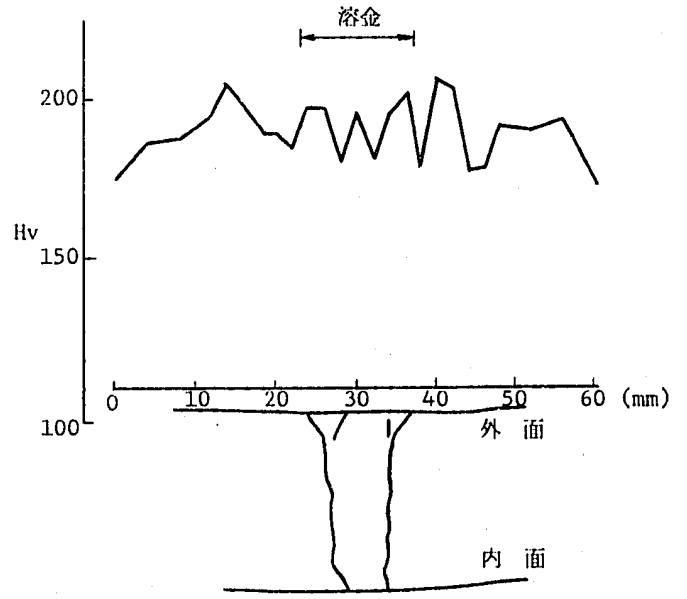
MIG 外面 Hv



SMAW 外面 Hv



EBW 外面 Hv



TIG 外面 Hv

* 外面より約 500 μm の位置で測定

Fig. 4.1.4 Vicker's Hardness Test Result of Inner Shell Weldment

4. 2 今後の課題

4章の損傷評価及び本章の検討より今後の課題として以下の項目があげられる。

- 供試体の製作に用いた材料強度の平均的な材料強度からの偏差を確認する必要性
- 破損部の実際のひずみを求めるため及びひずみ集中係数を確認するために非弾性解析を実施する必要性
- 溶接部及びシンニング部の構造不連続の形状を模擬した解析を実施する必要性
- 溶接部の熱過渡を受ける面が溶接の初層側であるか最終層側であるかが強度に対して影響があるのかどうかを確認する必要性
- 溶接部のき裂発生位置と硬さ分布の対応があるかの検討の必要性
- 仕上げをした溶接部のき裂発生位置が溶金か熱影響部かが溶接方法に依存するのかを調査する必要性

5. 結 論

本研究は、実機設計に使用される典型的な形状及び溶接の熱過渡特性を把握し、またクリープ疲労評価法の確認を目的としている。

熱応力緩和構造供試体(1)の温度計測データを用いて熱伝導・弾性熱応力解析を実施し、またこれらの結果に基づきクリープ疲労強度を評価した。

安全裕度を取り除いたクリープ疲労強度評価法(TTSDS)による評価を行った。これによるクリープ疲労損傷値とき裂深さの対応を調査した結果、両者が良好な対応関係にあることを確認した。この結果は、母材部、溶接部とも、TTS試験による従来の強度データと整合しており、このクリープ疲労評価法の有効性が確認された。

6. 参考文献

- (1) 渡士他 ; 原子炉容器モデル熱過渡強度試験, 第2報, 供試体の設計・製作
PNC SN9410 86-009
- (2) 小出他 ; 原子炉容器モデル熱過渡強度試験,
第5報, 伝熱・応力解析と強度評価
PNC ZN9410 86-035
- (3) 渡士他 ; 原子炉容器モデル熱過渡強度試験,
第11報, 試運転用供試体の熱過渡強度試験
PNC ZN9410 86-009
- (4) 齋藤他 ; 配管ベローズ継手モデル熱過渡強度試験,
第2報, 伝熱・応力解析と強度評価
PNC SN9410 87-170
- (5) 梅田他 ; 熱応力緩和構造モデル(1)熱過渡強度試験, 第1報, 試験・検査
PNC SN9410 89-(未定)
- (6) 谷川他 ; 熱過渡強度データのまとめ
PNC SN9410 87-176
- (7) 動燃事業団 ; 高速原型炉第1種機器の高温構造設計方針
PNC N241 84-08(1)
- (8) 動燃事業団 ; 高速原型炉高温構造設計方針 材料強度基準等
PNC N241 84-08(2)
- (9) 動燃事業団 ; 解説「高速原型炉第1種機器の高温構造設計方針」
PNC SN241 84-14

付録A. 熱過渡条件

Fig. A. 1. 1 Thermocouple Location

Fig. A. 2. 1 Thermal Transient Condition at IN-01A of Inlet Nozzle

Fig. A. 2. 2 Thermal Transient Condition at IN-02A of Inlet Nozzle

Fig. A. 2. 3 Thermal Transient Condition at IN-03A of Inlet Nozzle

Fig. A. 2. 4 Thermal Transient Condition at IN-31A of Inlet Nozzle

Fig. A. 2. 5 Thermal Transient Condition at IN-32A of Inlet Nozzle

Fig. A. 2. 6 Thermal Transient Condition at TI-31A of Inlet Nozzle

Fig. A. 3. 1 Thermal Transient Condition at ON-01A of Outlet Nozzle

Fig. A. 3. 2 Thermal Transient Condition at ON-04A of Outlet Nozzle

Fig. A. 4. 1 Thermal Transient Condition at SK-31A of Skirt

Fig. A. 4. 2 Thermal Transient Condition at SK-32A of Skirt

Fig. A. 4. 3 Thermal Transient Condition at SK-33A of Skirt

Fig. A. 4. 4 Thermal Transient Condition at TI-35A of Skirt

Fig. A. 5. 1 Thermal Transient Condition at IC-03A and IC-73A of Inner Shell

Fig. A. 5. 2 Thermal Transient Condition at IC-04A and IC-74A of Inner Shell

Fig. A. 5. 3 Thermal Transient Condition at IC-05A and IC-75A of Inner Shell

Fig. A. 5. 4 Thermal Transient Condition at IC-06A and IC-76A of Inner Shell

Fig. A. 6. 1 Thermal Transient Condition at TI-11A of Slitted Cylinder

Fig. A. 6. 2 Thermal Transient Condition at TI-12A of Slitted Cylinder

Fig. A. 6. 3 Thermal Transient Condition at TI-13A of Slitted Cylinder

Fig. A. 6. 4 Thermal Transient Condition at TI-14A of Slitted Cylinder

Fig. A. 6. 5 Thermal Transient Condition at TI-15A of Slitted Cylinder

Fig. A. 6. 6 Thermal Transient Condition at TI-16A of Slitted Cylinder

Fig. A. 6. 7 Thermal Transient Condition at TI-17A of Slitted Cylinder

Fig. A. 6. 8 Thermal Transient Condition at TI-18A of Slitted Cylinder

- Fig. A. 6. 9 Thermal Transient Condition at TI-19A of Slitted Cylinder
- Fig. A. 6. 10 Thermal Transient Condition at TI-21A of Slitted Cylinder
- Fig. A. 6. 11 Thermal Transient Condition at TI-22A of Slitted Cylinder
- Fig. A. 6. 12 Thermal Transient Condition at TI-23A of Slitted Cylinder
- Fig. A. 6. 13 Thermal Transient Condition at TI-24A of Slitted Cylinder
- Fig. A. 6. 14 Thermal Transient Condition at TI-25A of Slitted Cylinder
- Fig. A. 6. 15 Thermal Transient Condition at TI-26A of Slitted Cylinder

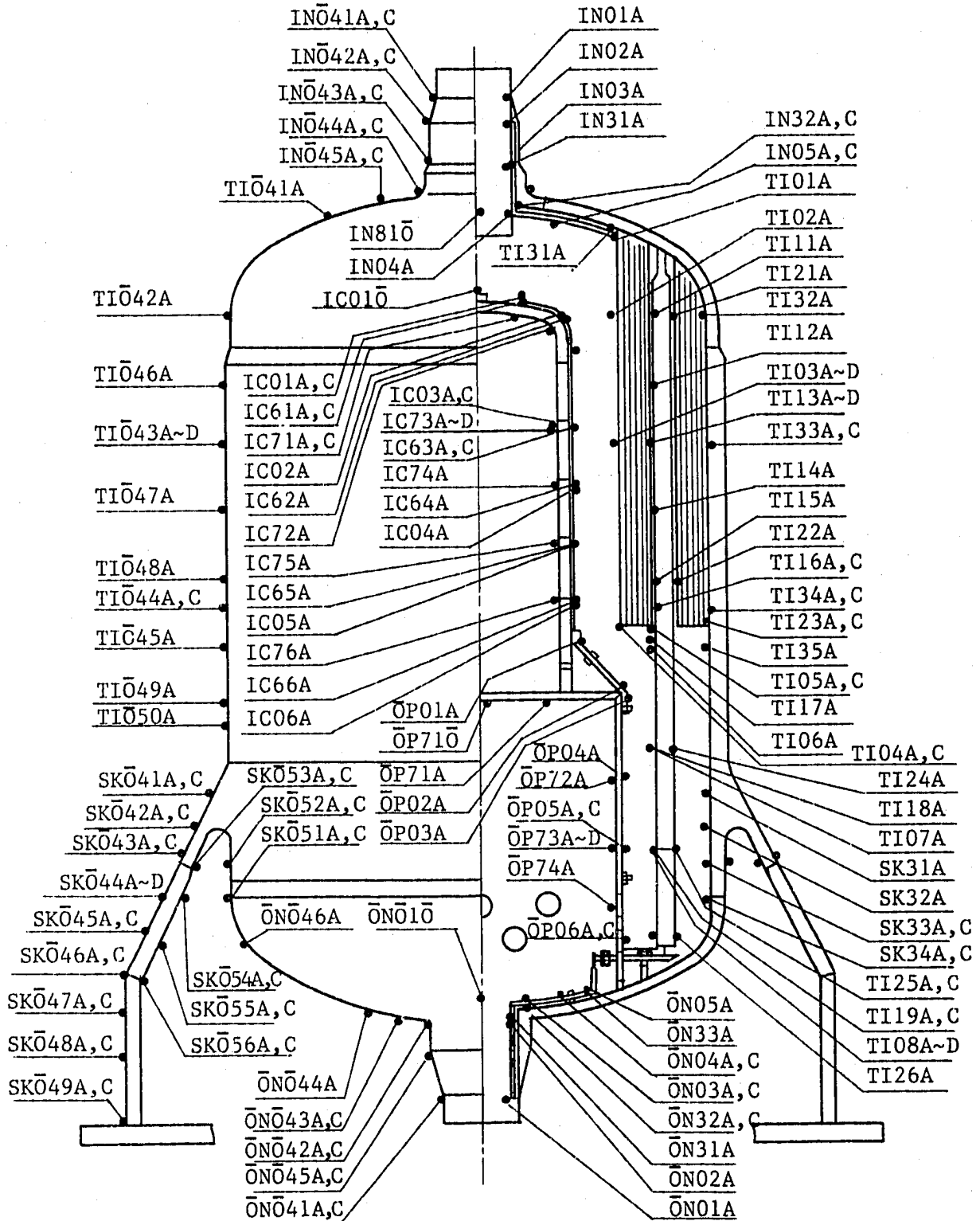


Fig. A.1.1 Thermocouple Location

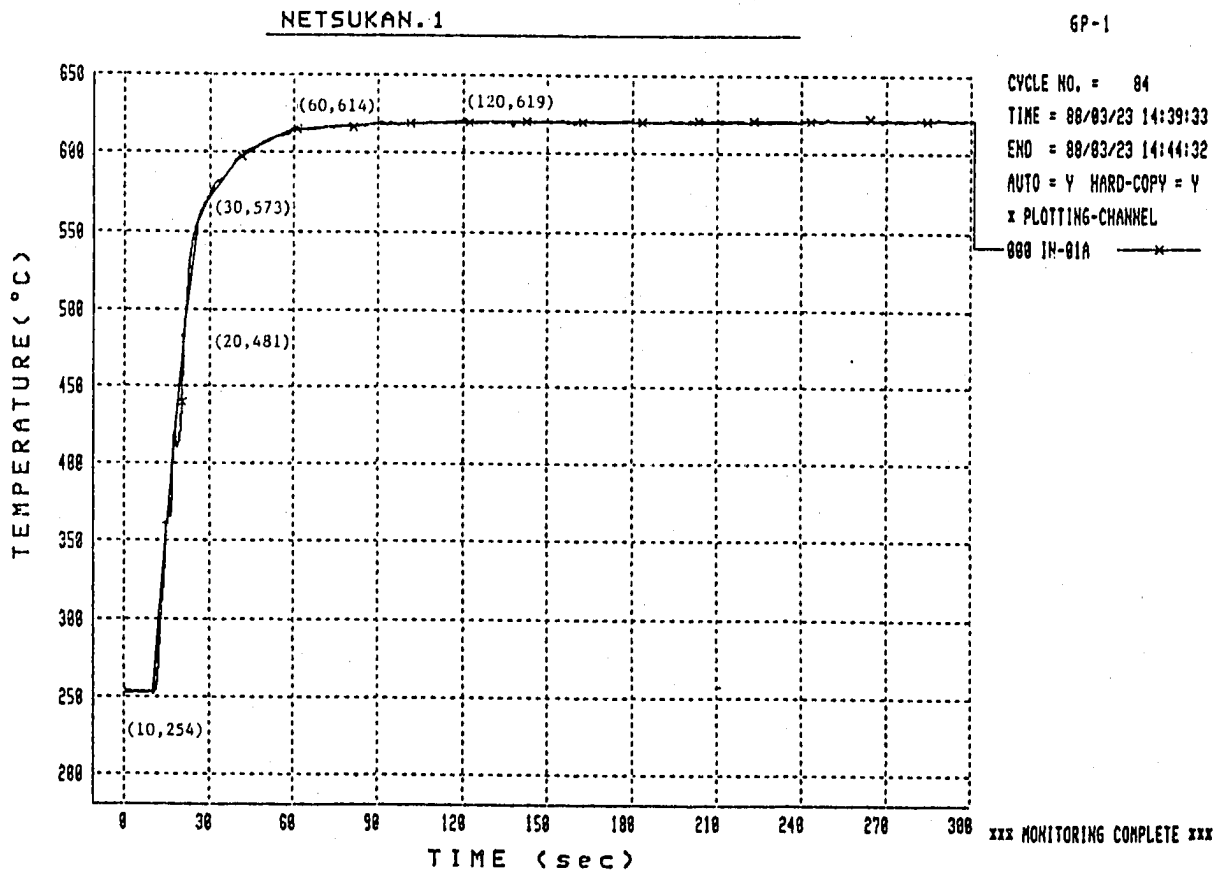
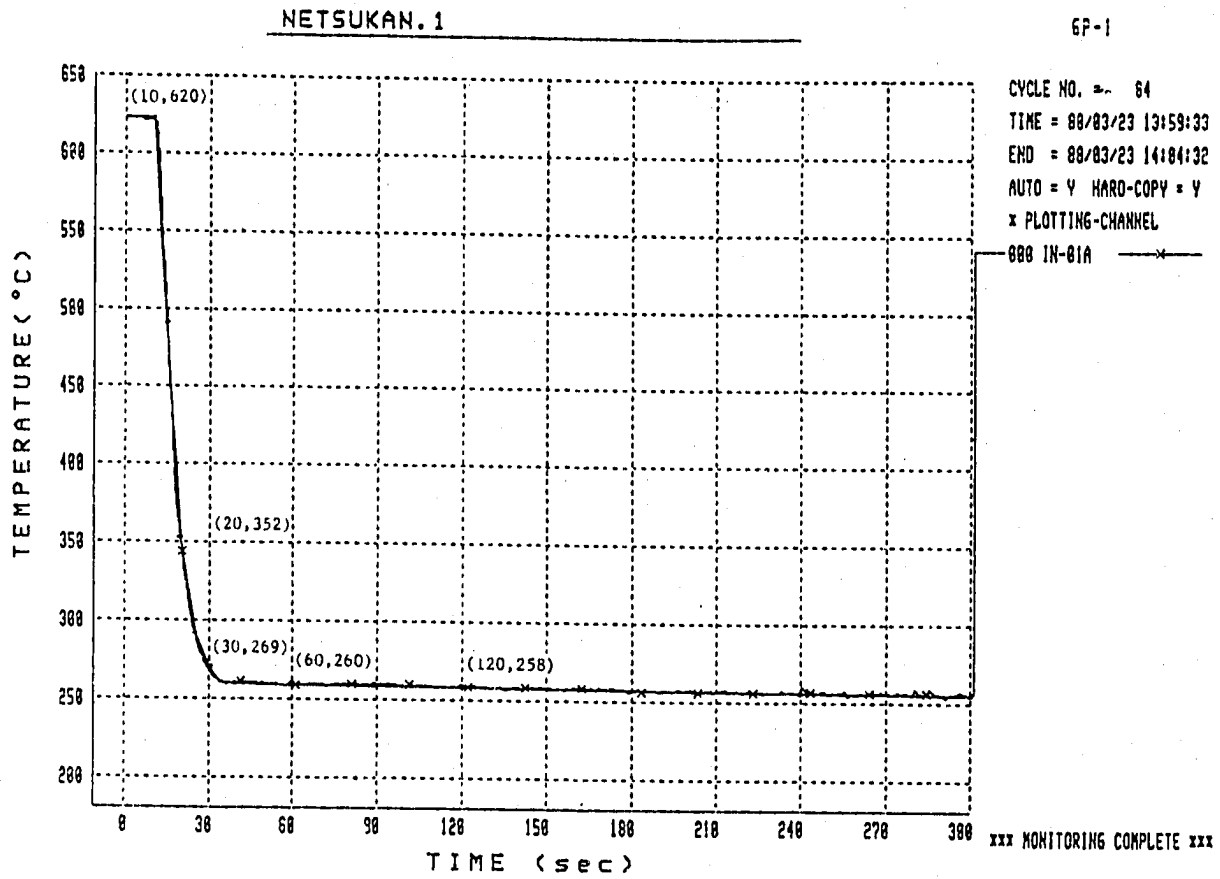


Fig. A.2.1 Thermal Transient Condition at IN-01A of Inlet Nozzle

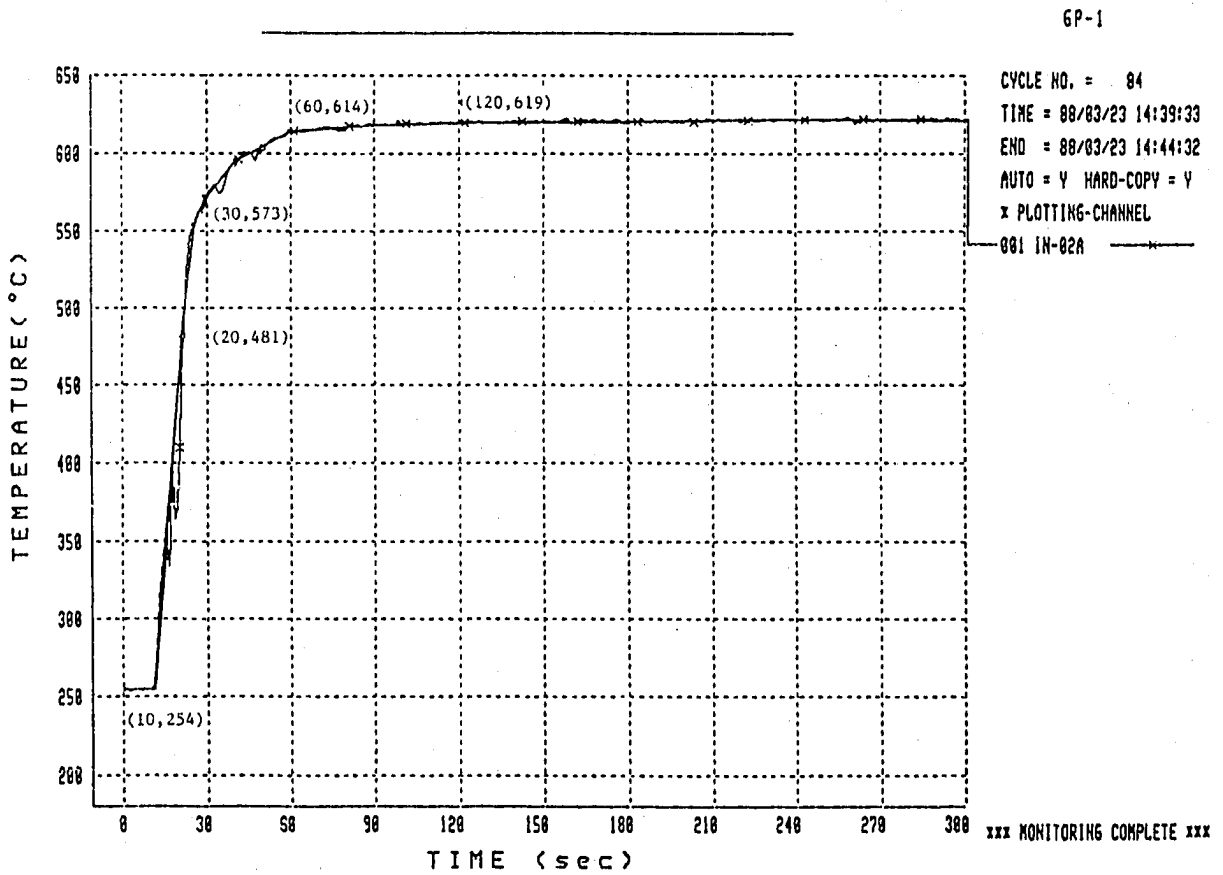
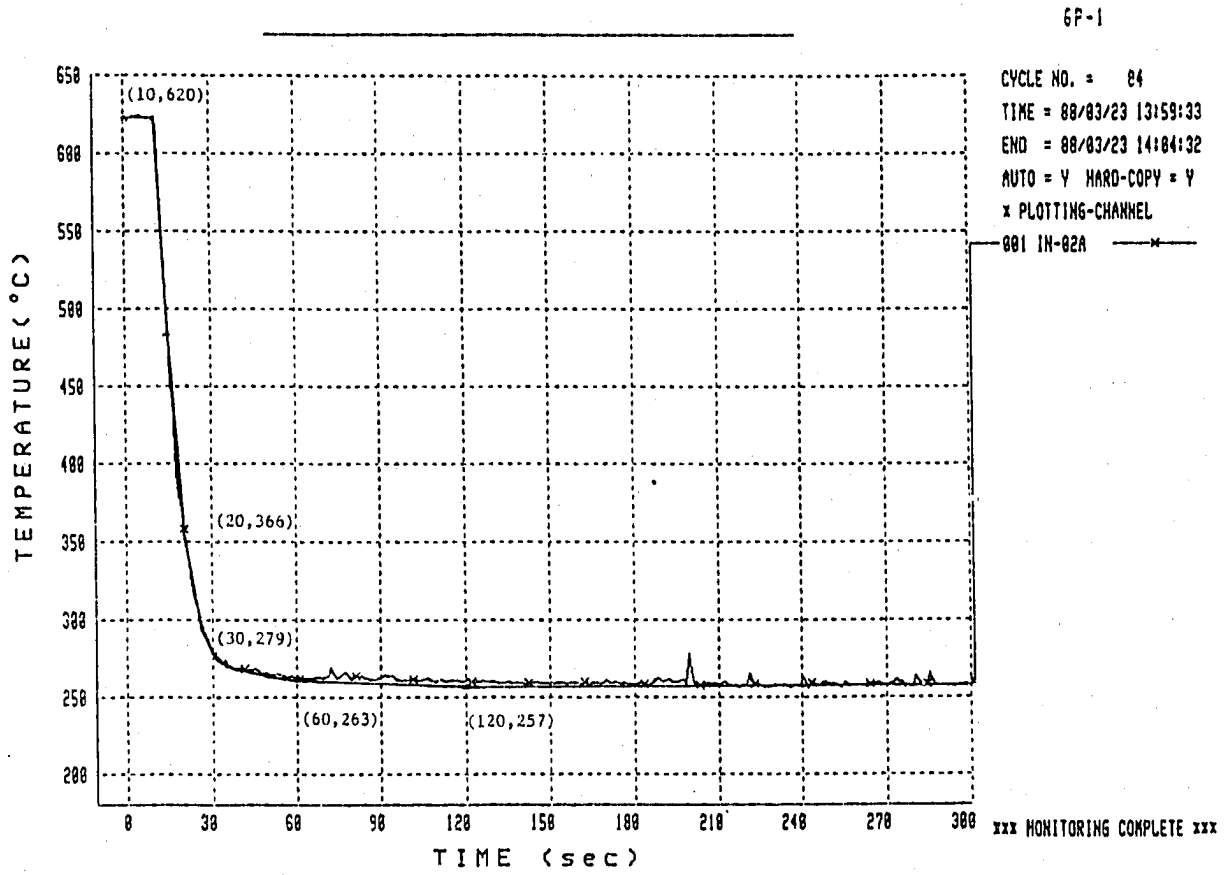


Fig. A.2.2 Thermal Transient Condition at IN-02A of Inlet Nozzle

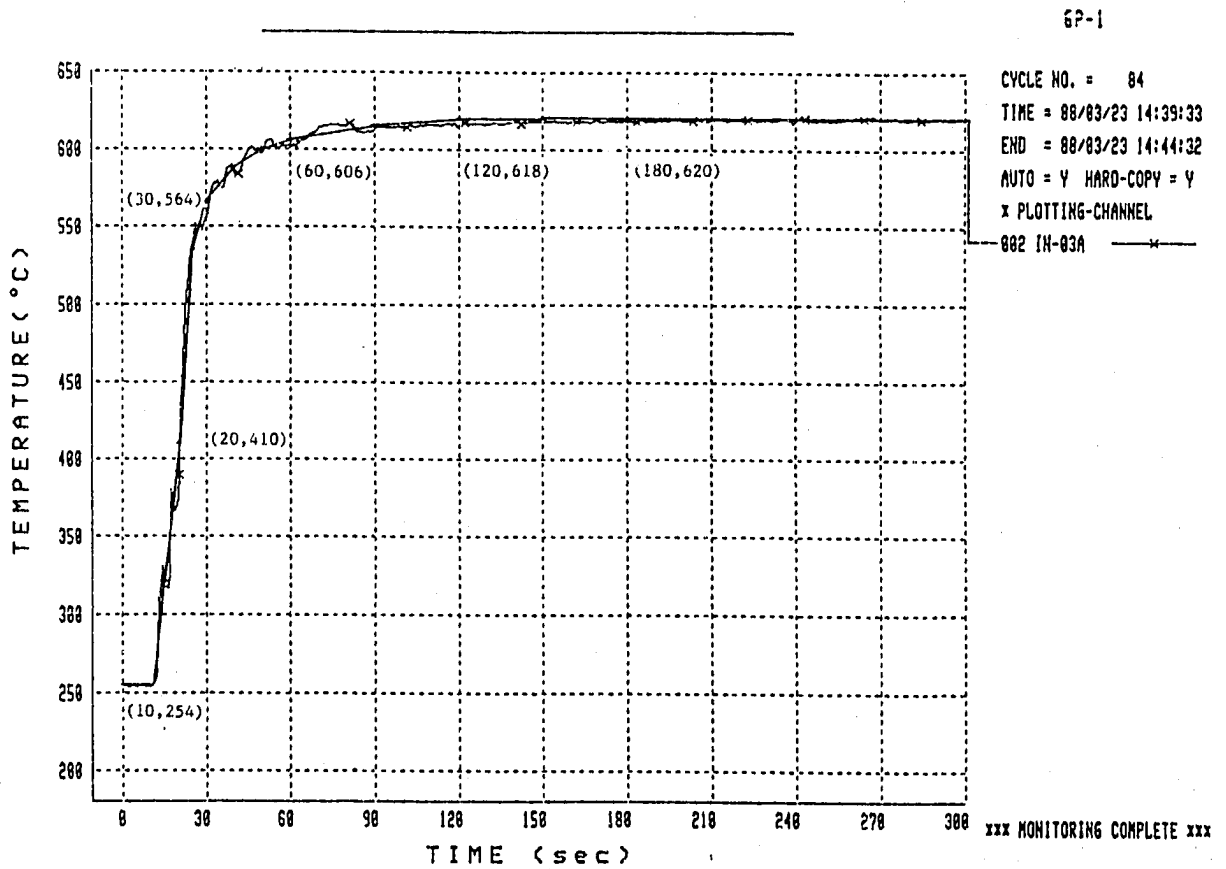
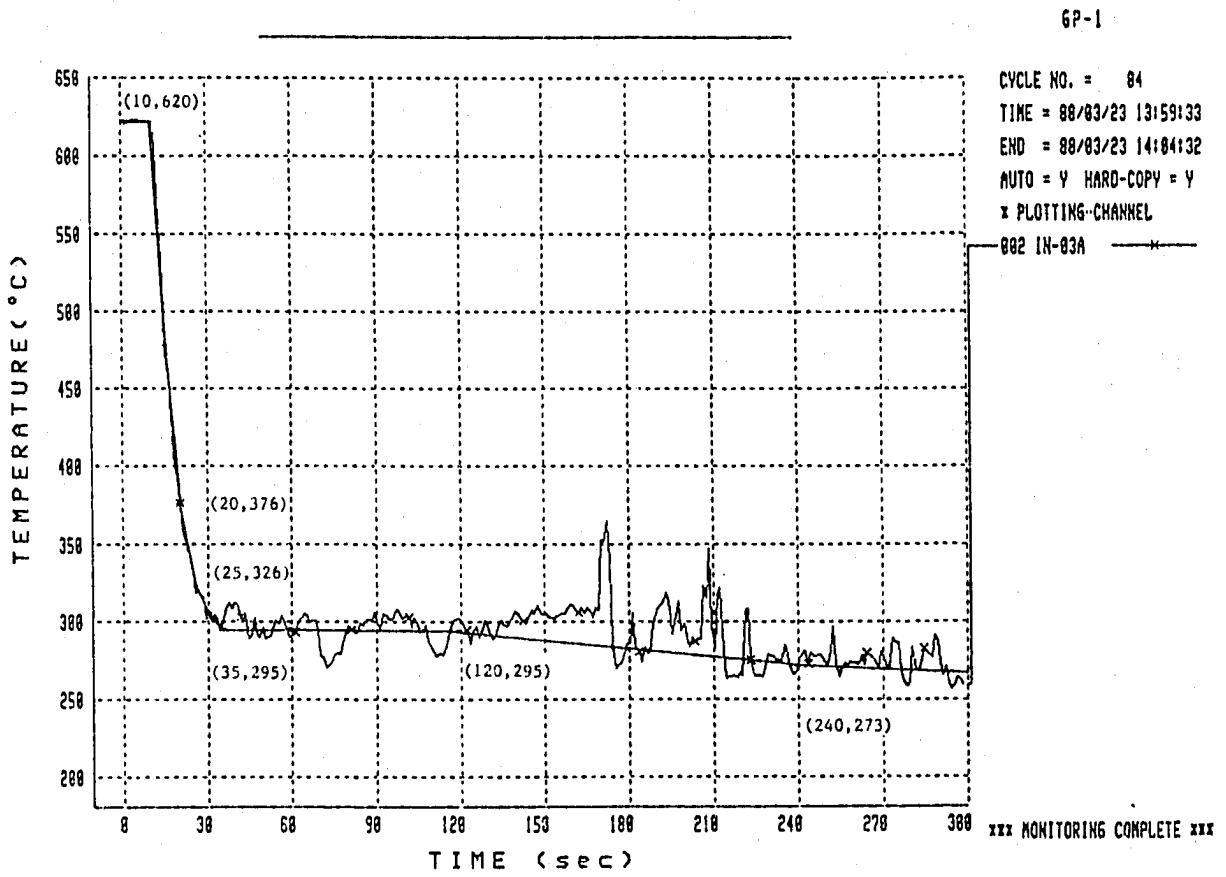


Fig. A.2.3 Thermal Transient Condition at IN-03A of Inlet Nozzle

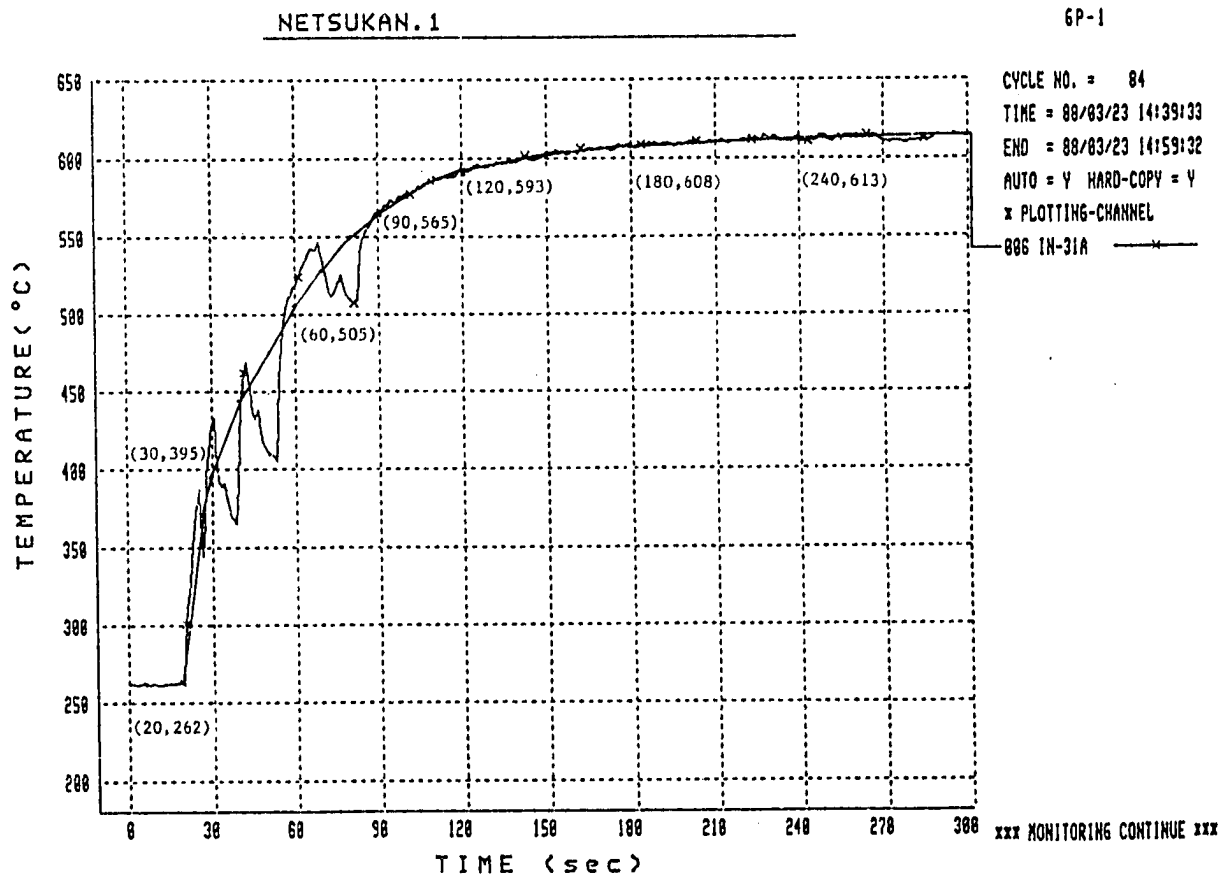
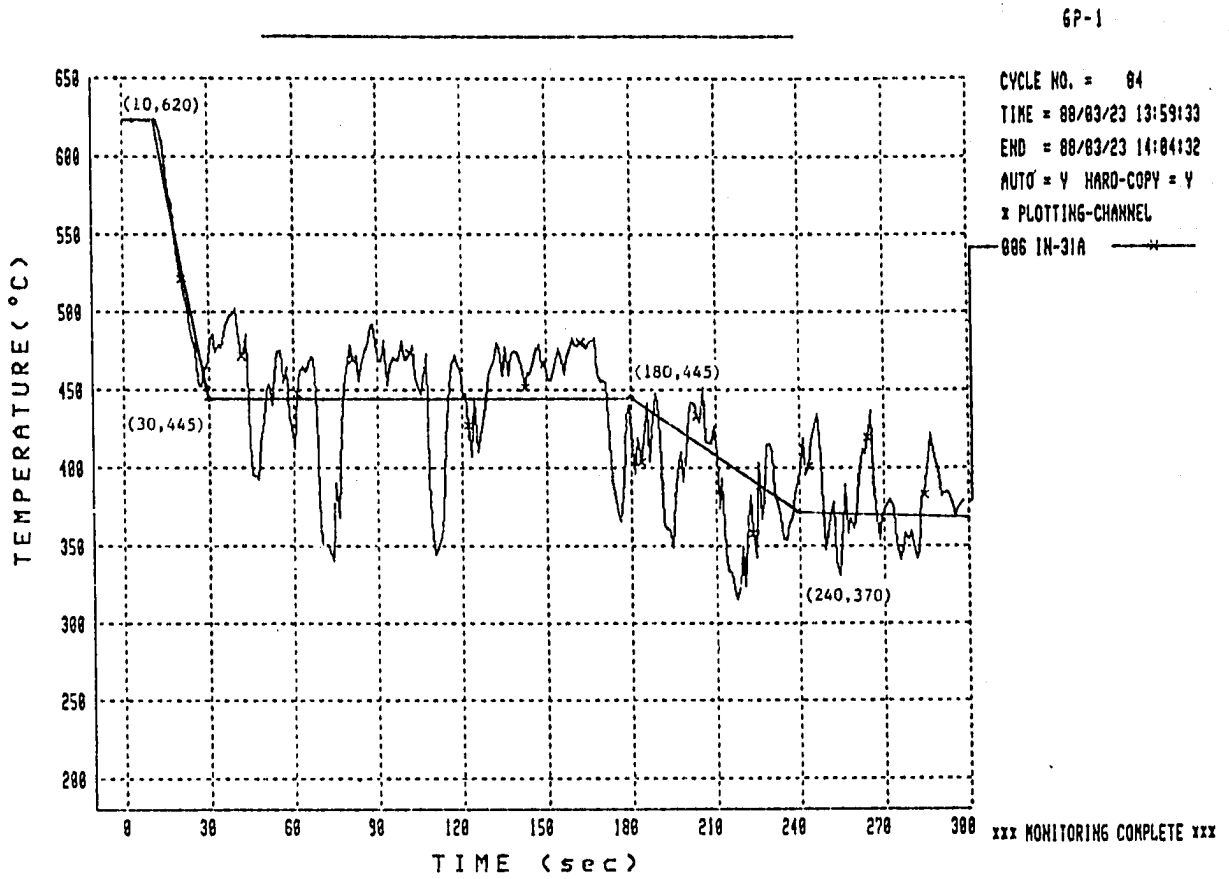


Fig. A.2.4 Thermal Transient Condition at IN-31A of Inlet Nozzle

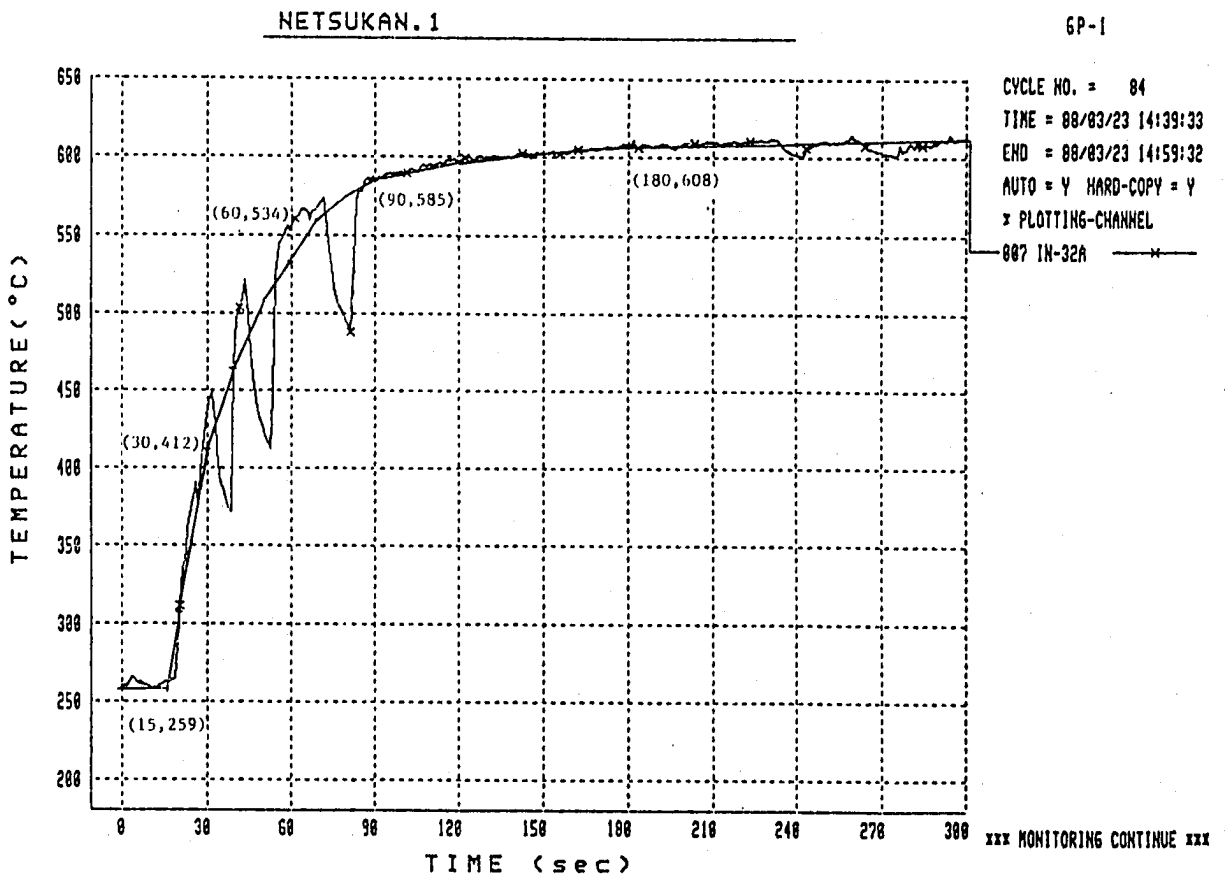
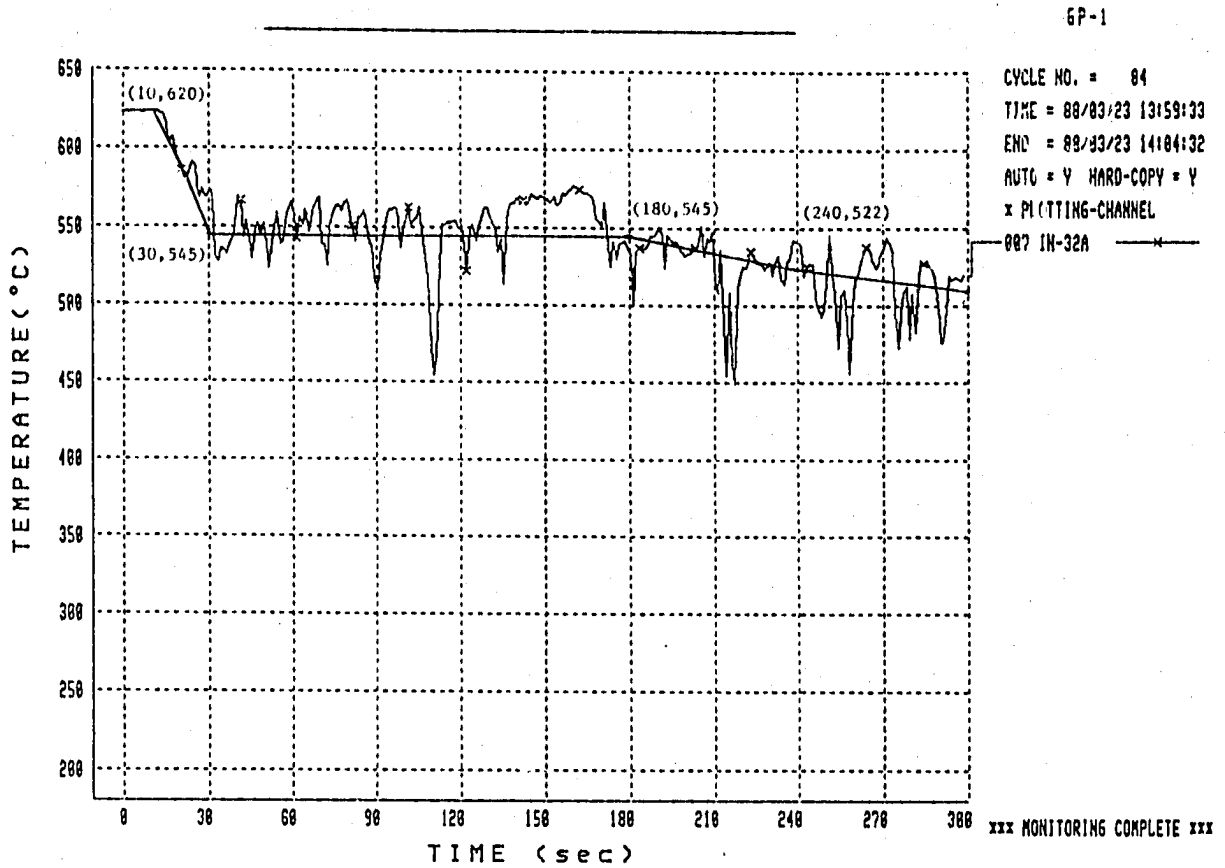


Fig. A.2.5 Thermal Transient Condition at IN-32A of Inlet Nozzle

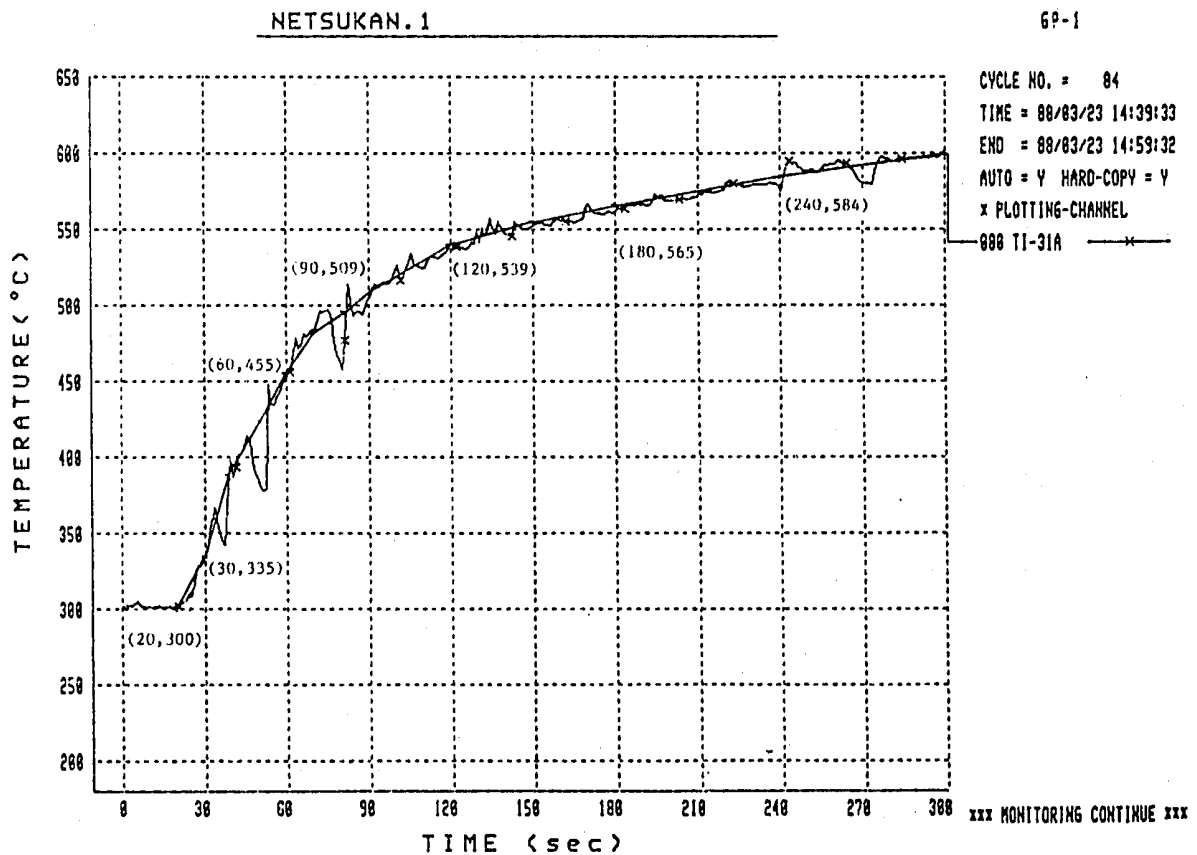
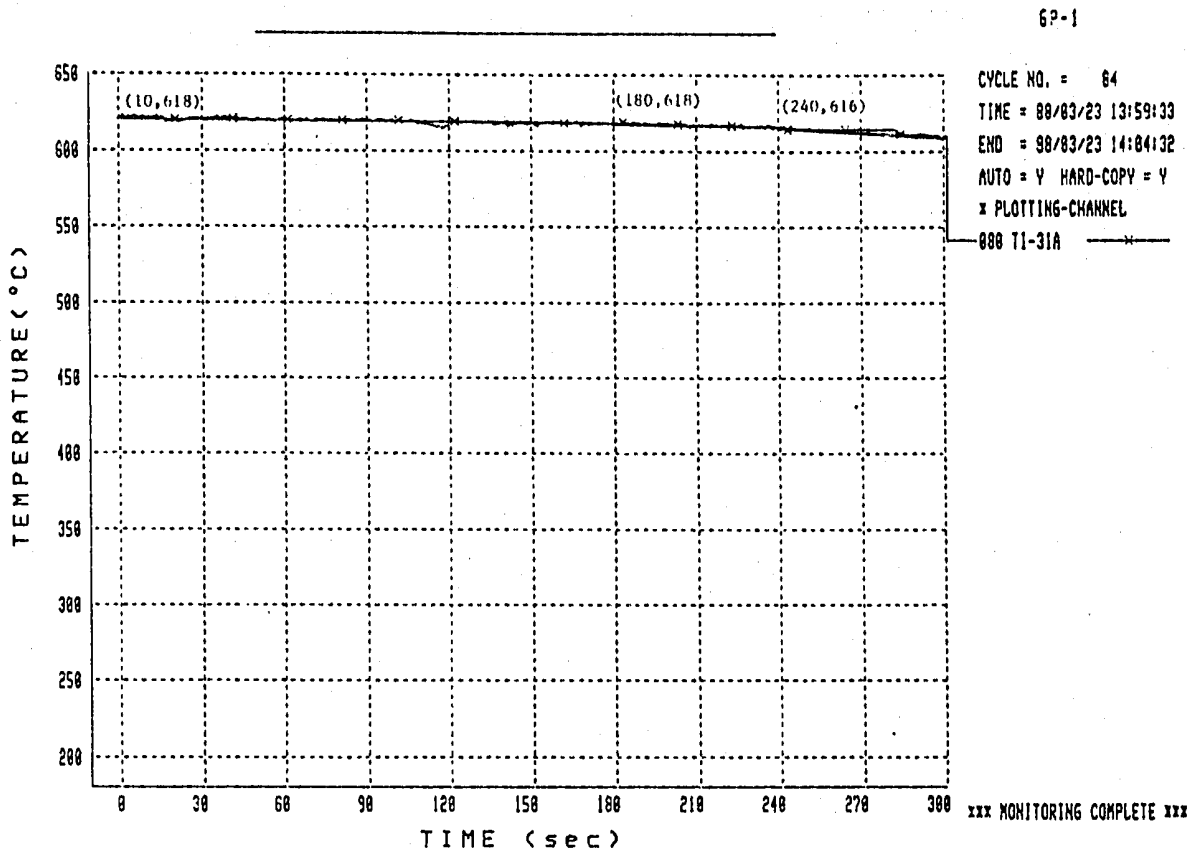


Fig. A.2.6 Thermal Transient Condition at TI-31A of Inlet Nozzle

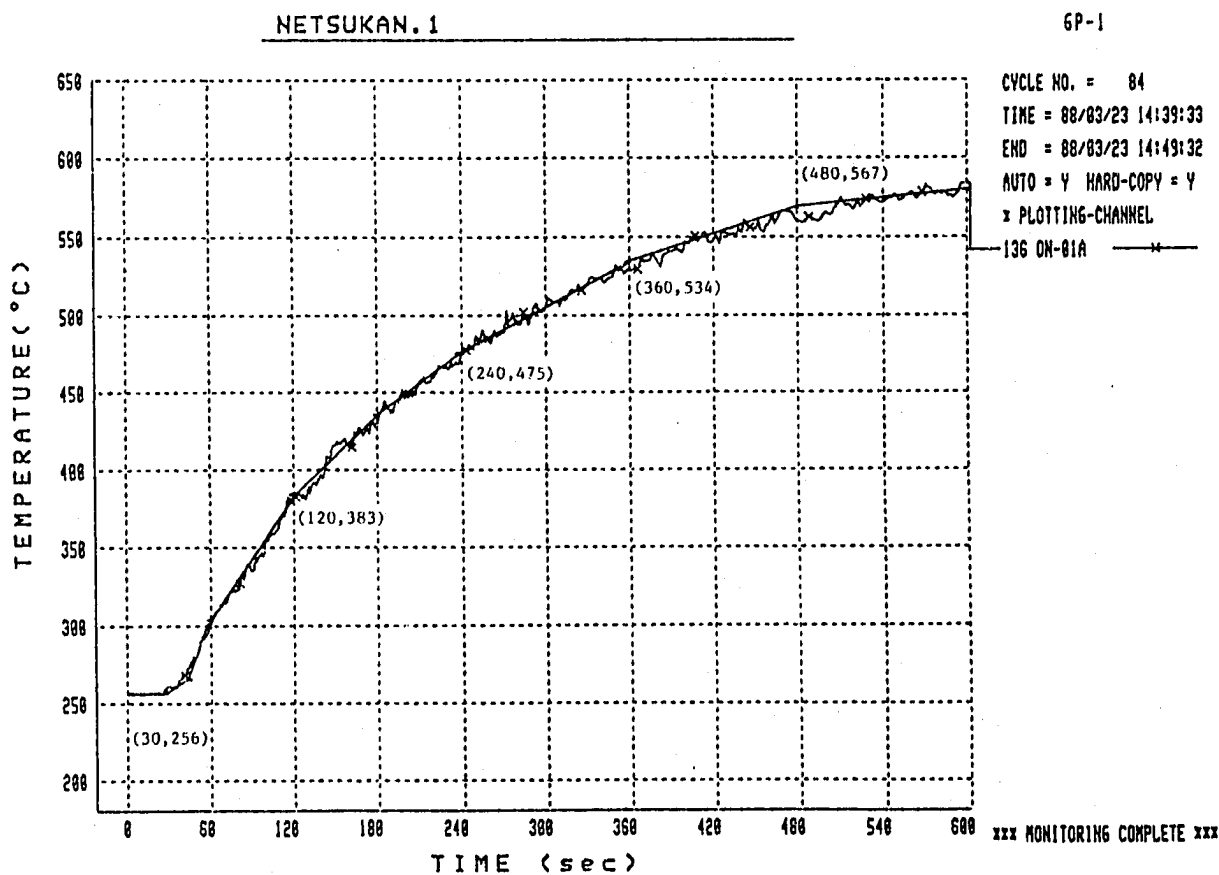
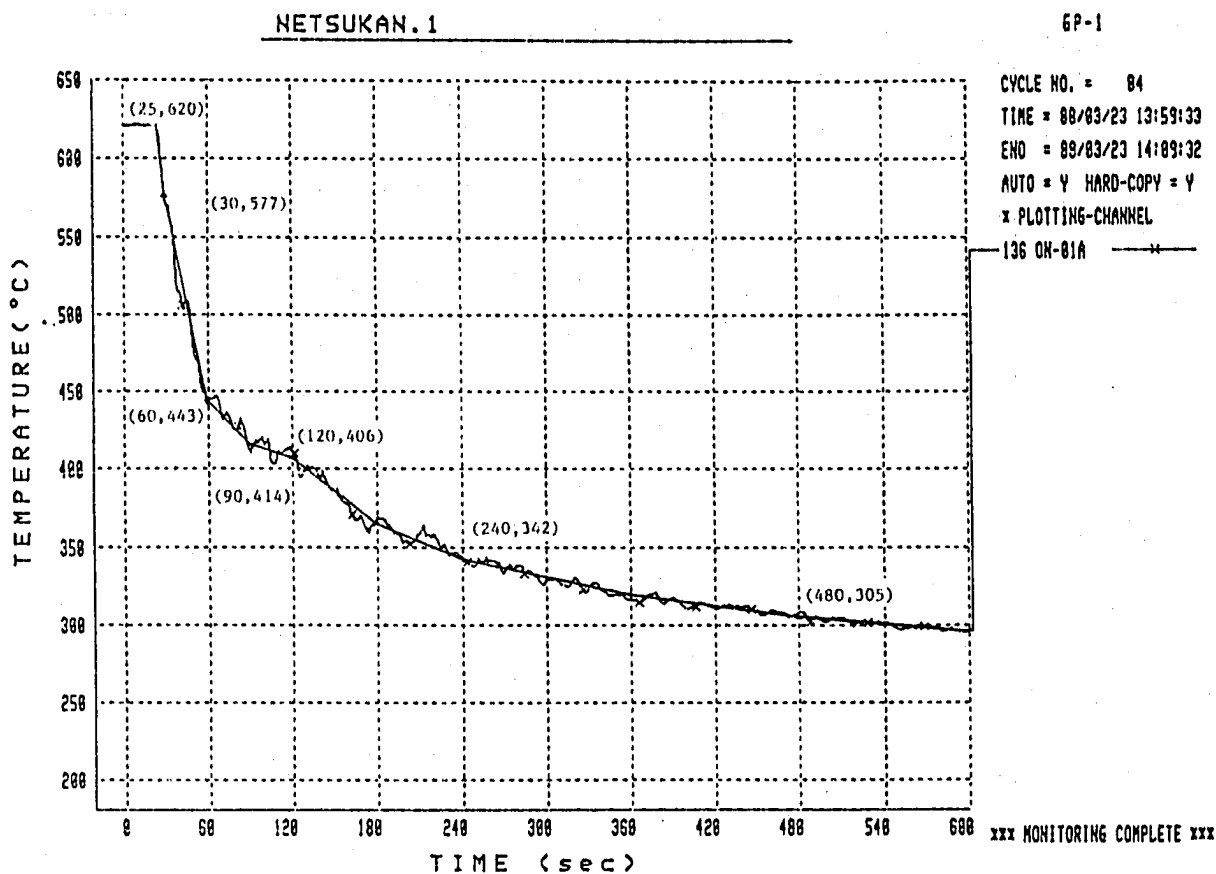


Fig. A.3.1 Thermal Transient Condition at ON-01A of Outlet Nozzle

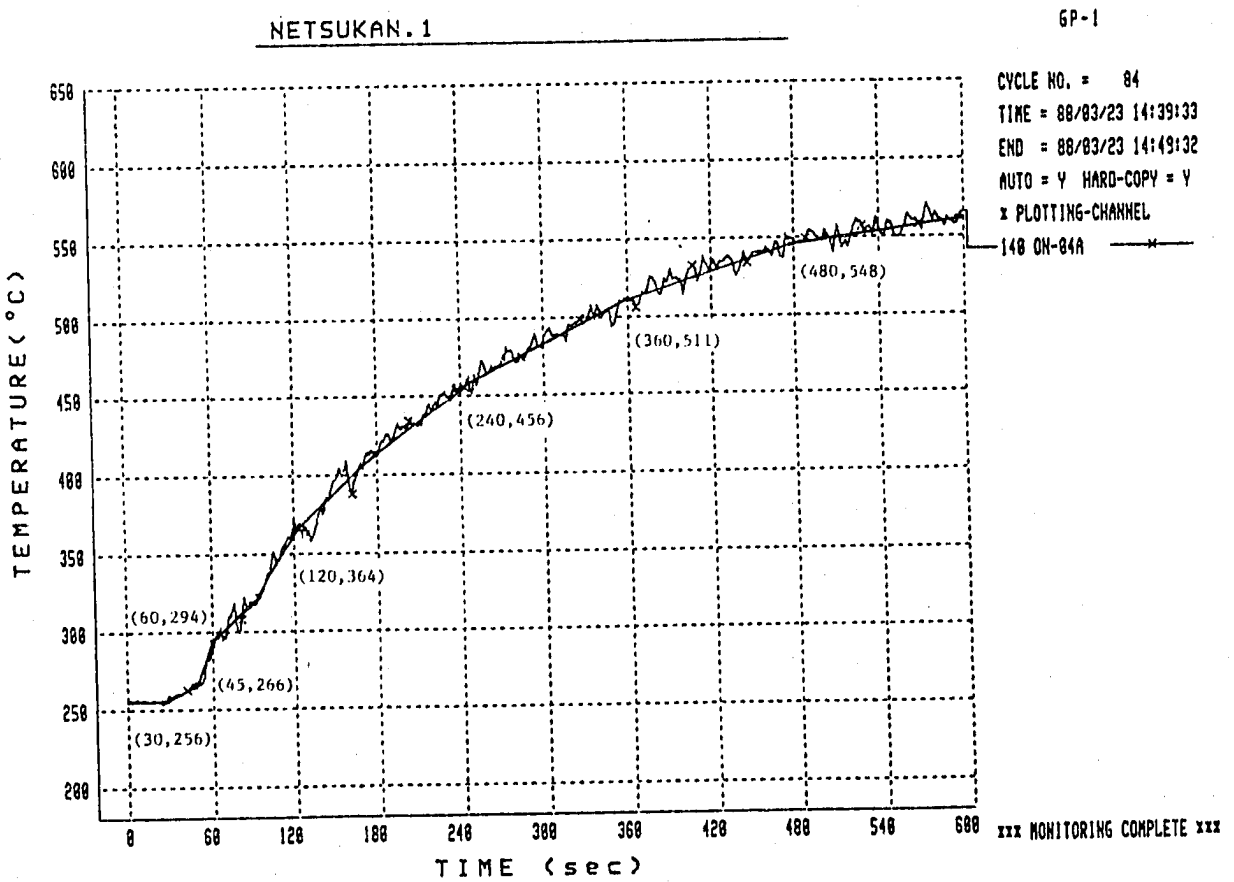
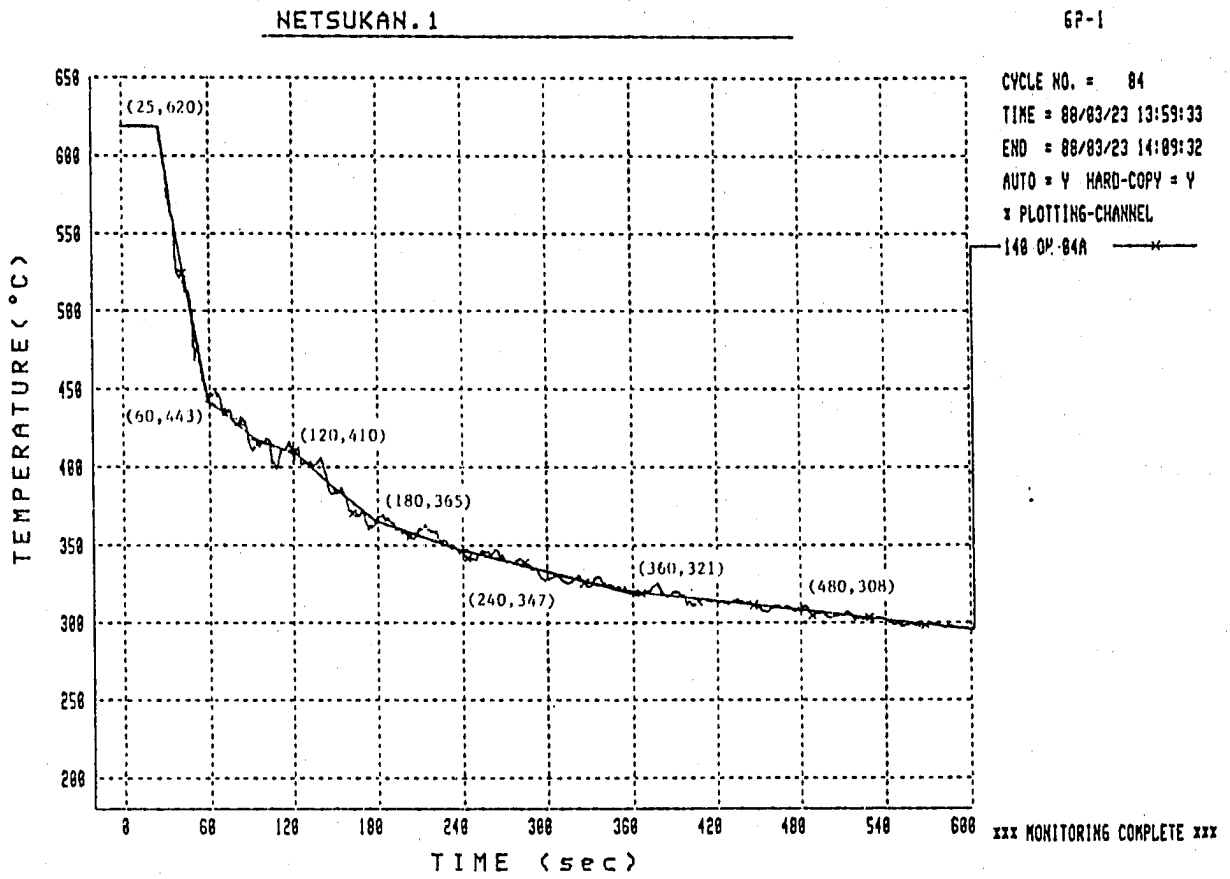


Fig. A.3.2 Thermal Transient Condition at ON-04A of Outlet Nozzle

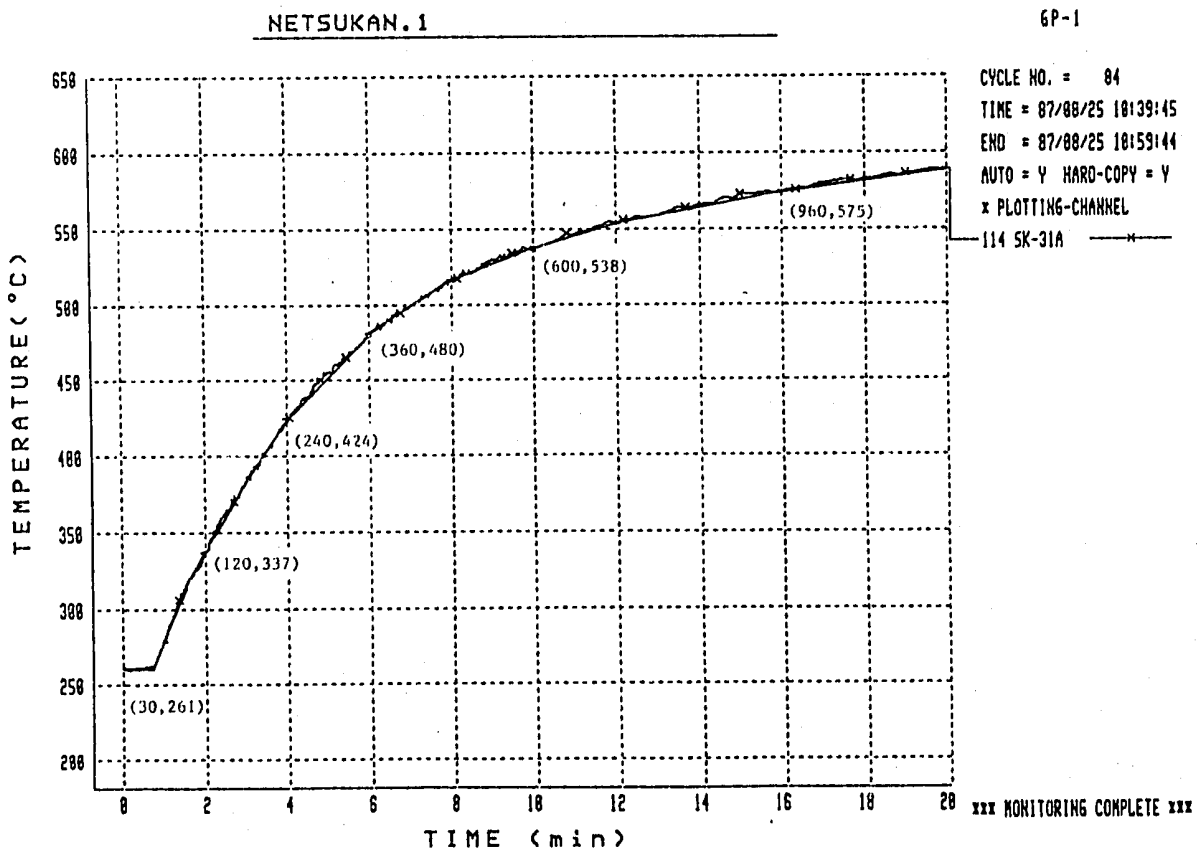
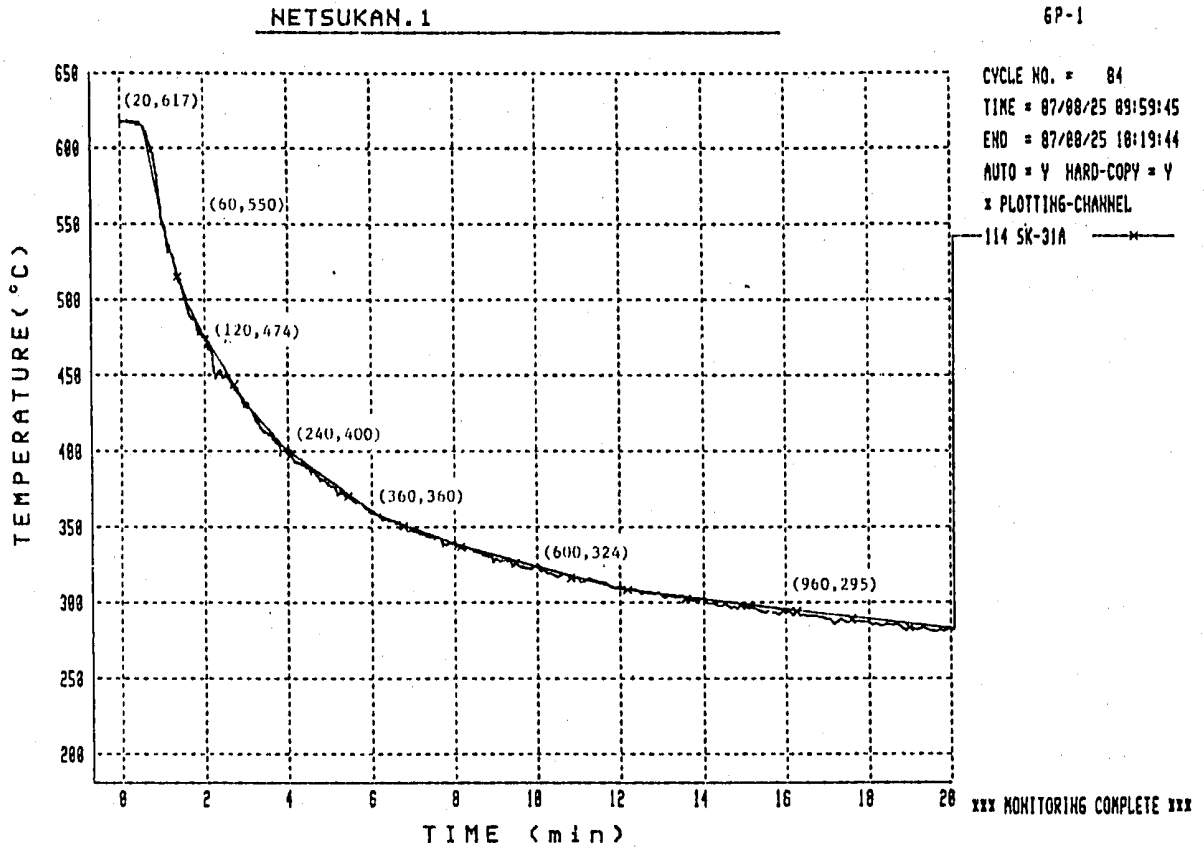


Fig. A.4.1 Thermal Transient Condition at SK-31A of Skirt

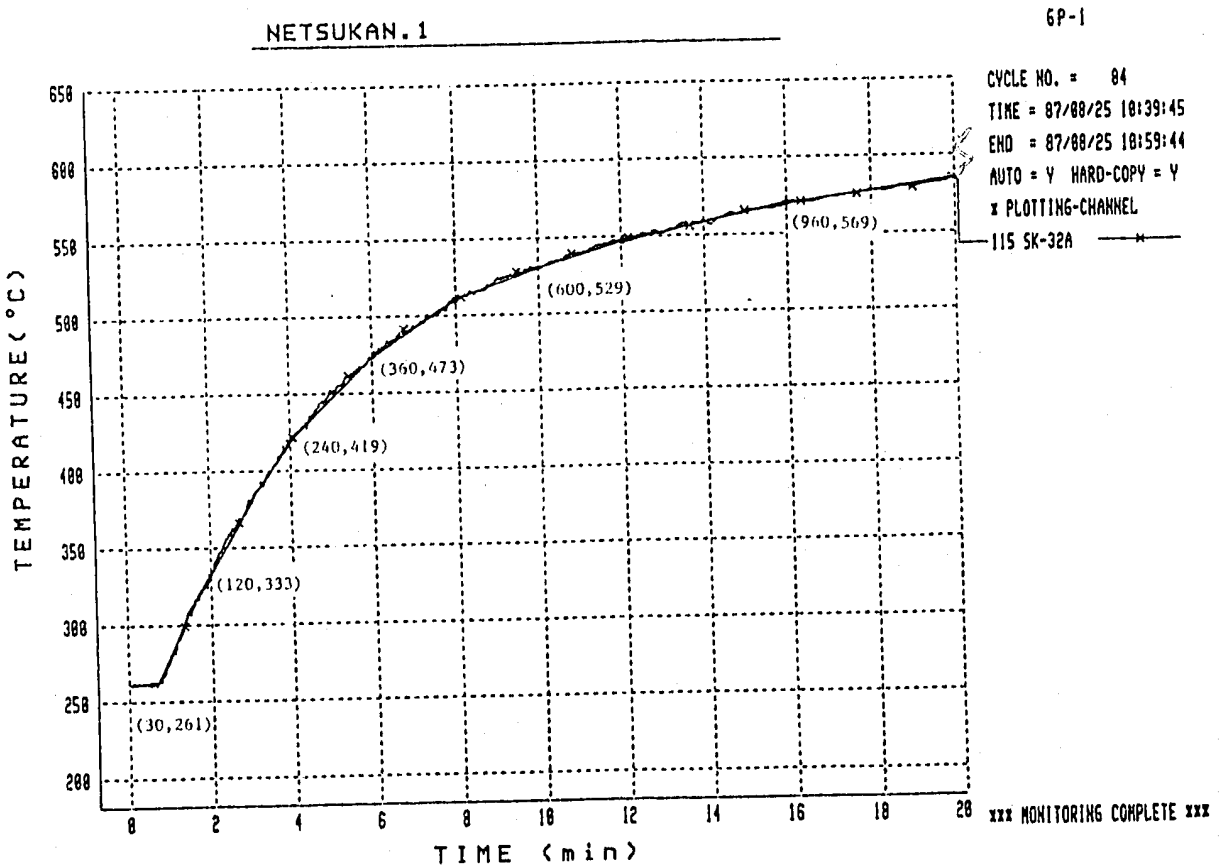
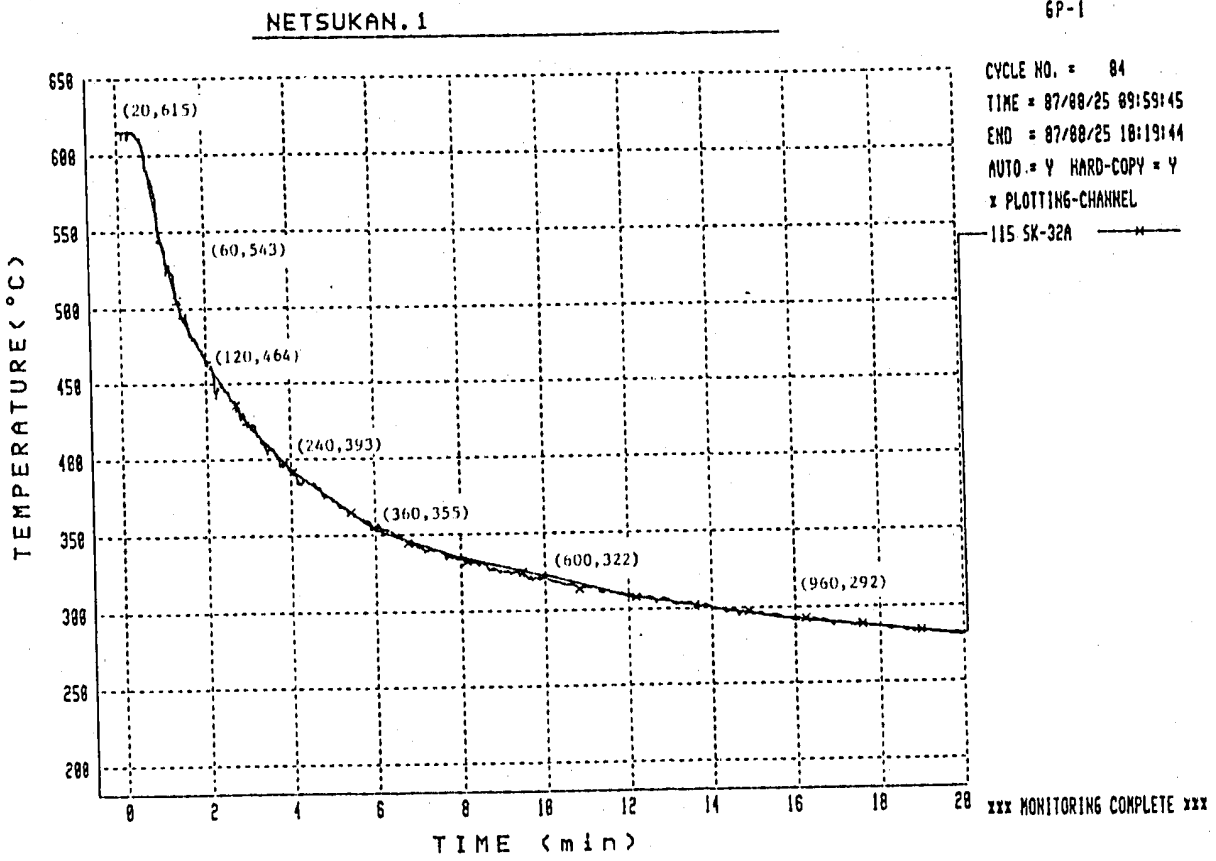


Fig. A.4.2 Thermal Transient Condition at SK-32A of Skirt

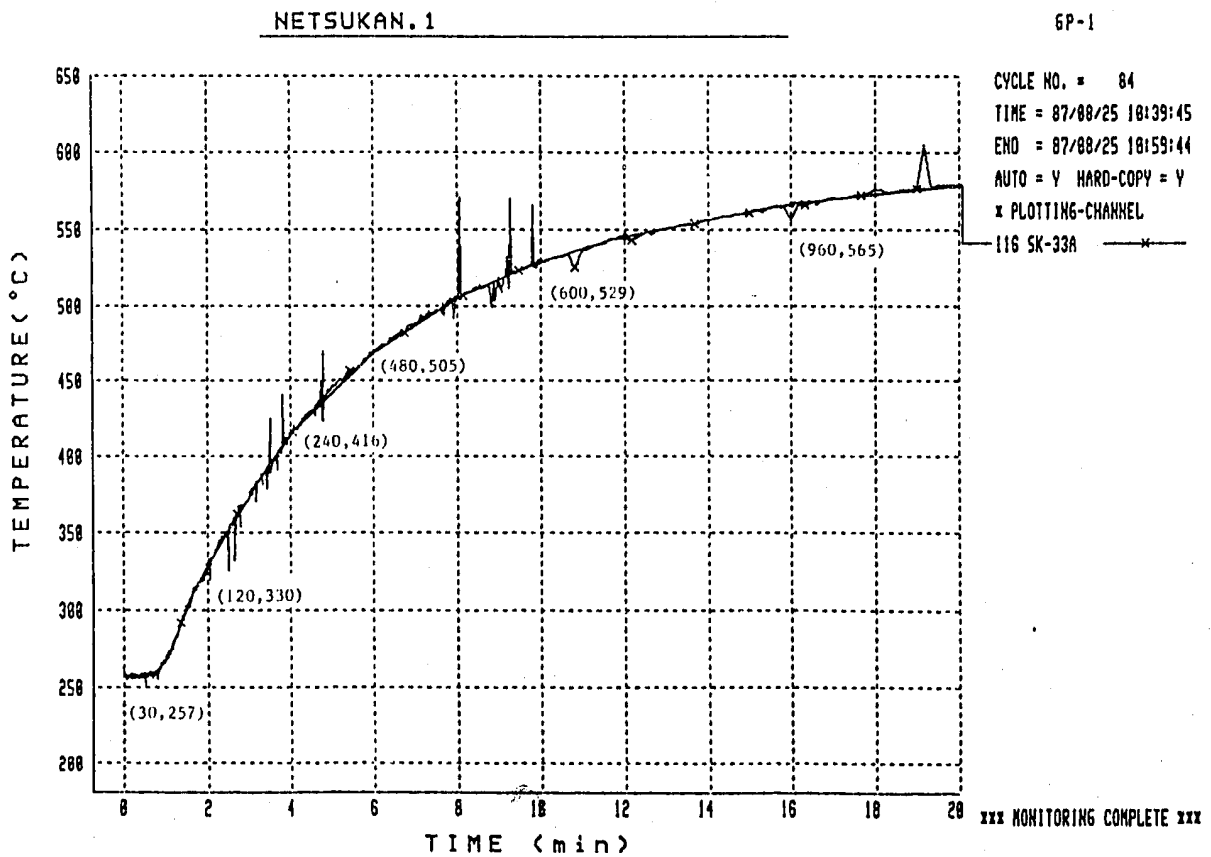
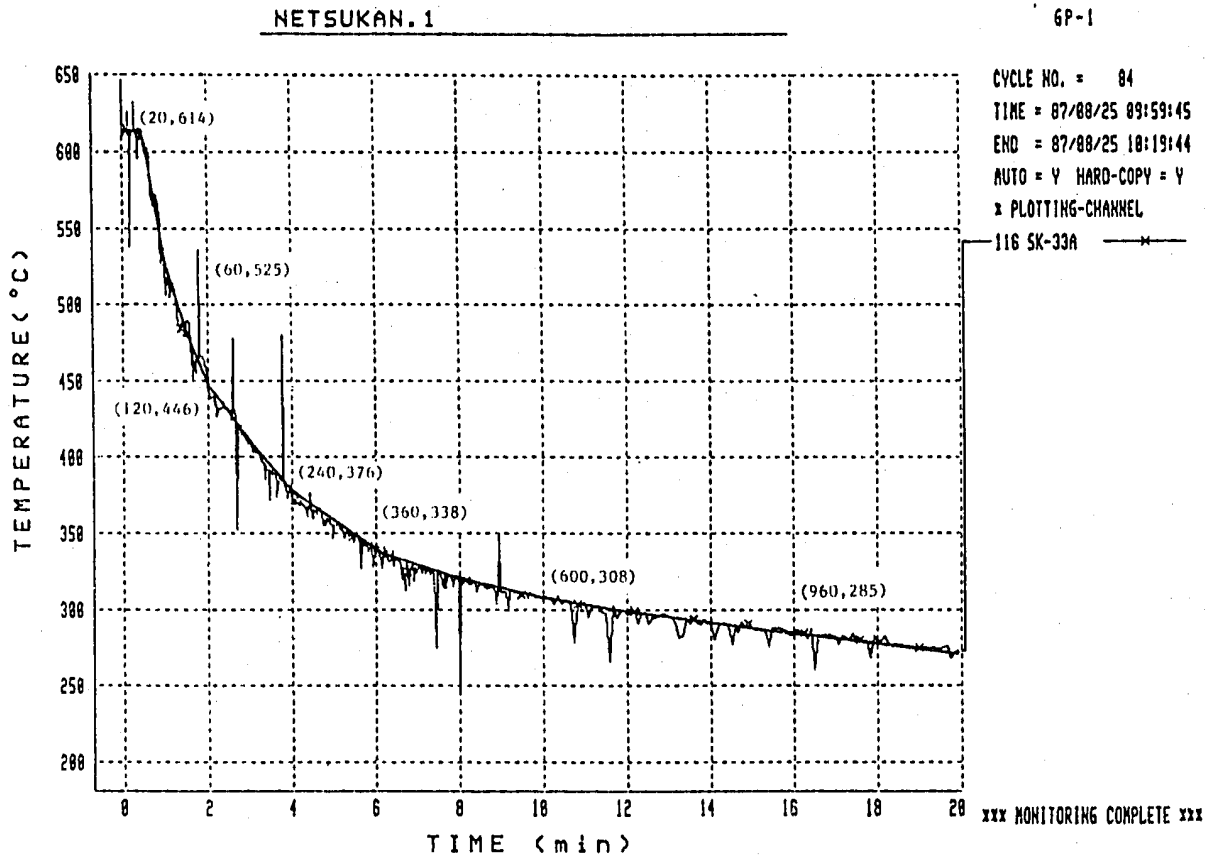


Fig. A.4.3 Thermal Transient Condition at SK-33A of Skirt

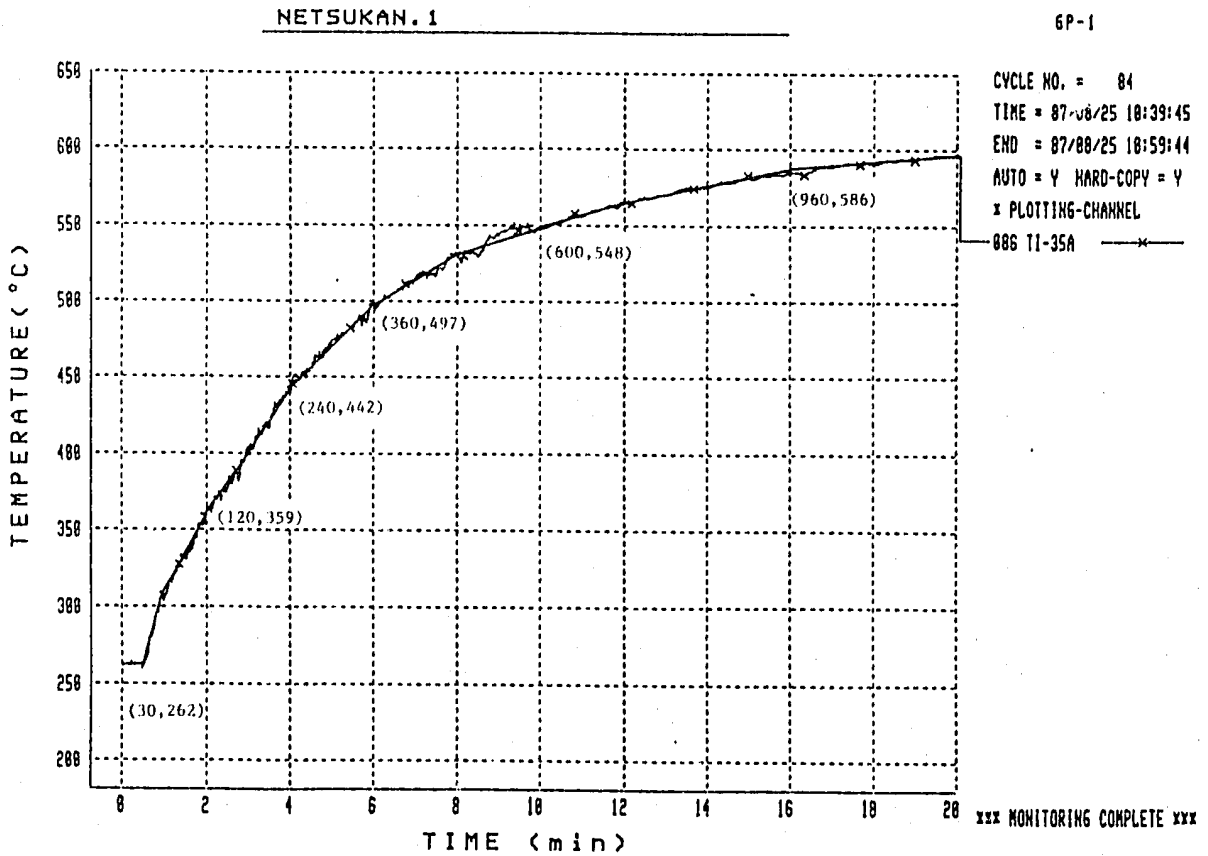
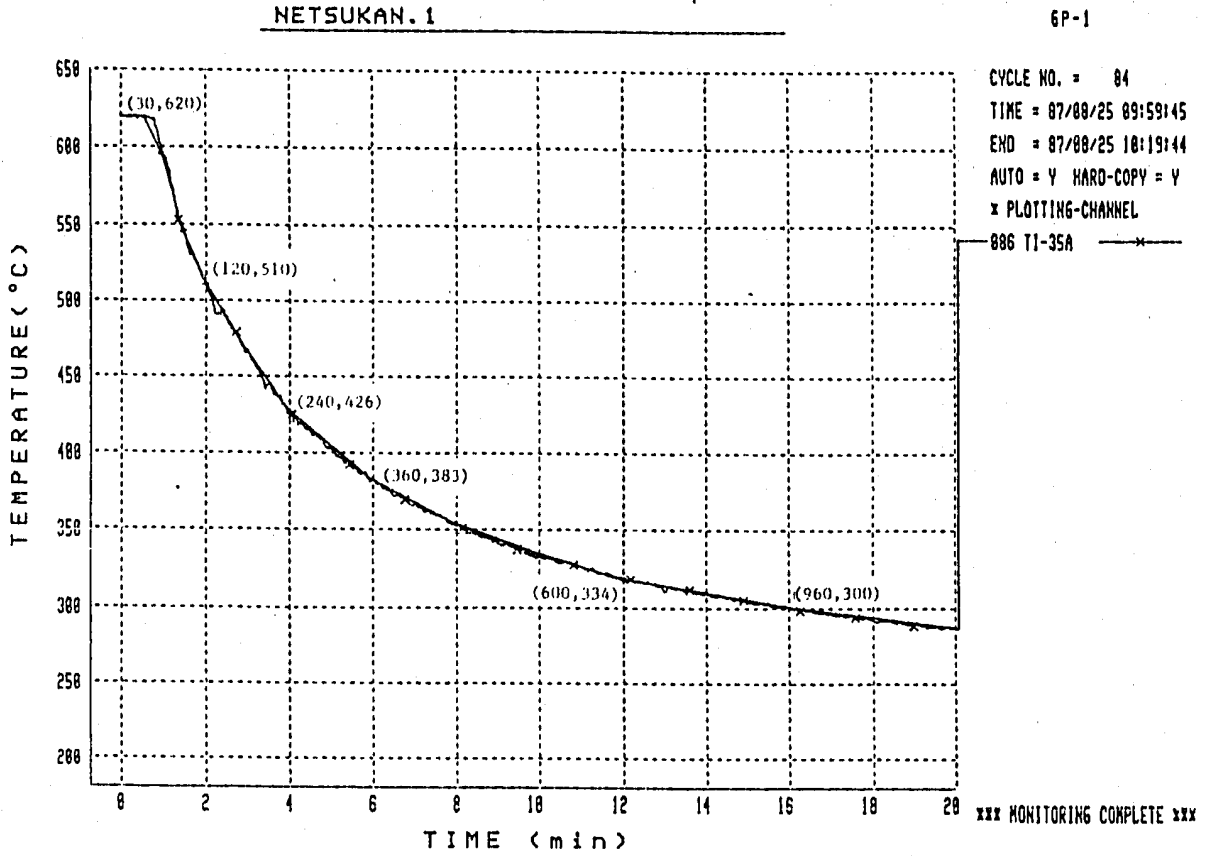


Fig. A.4.4 Thermal Transient Condition at T1-35A of Skirt

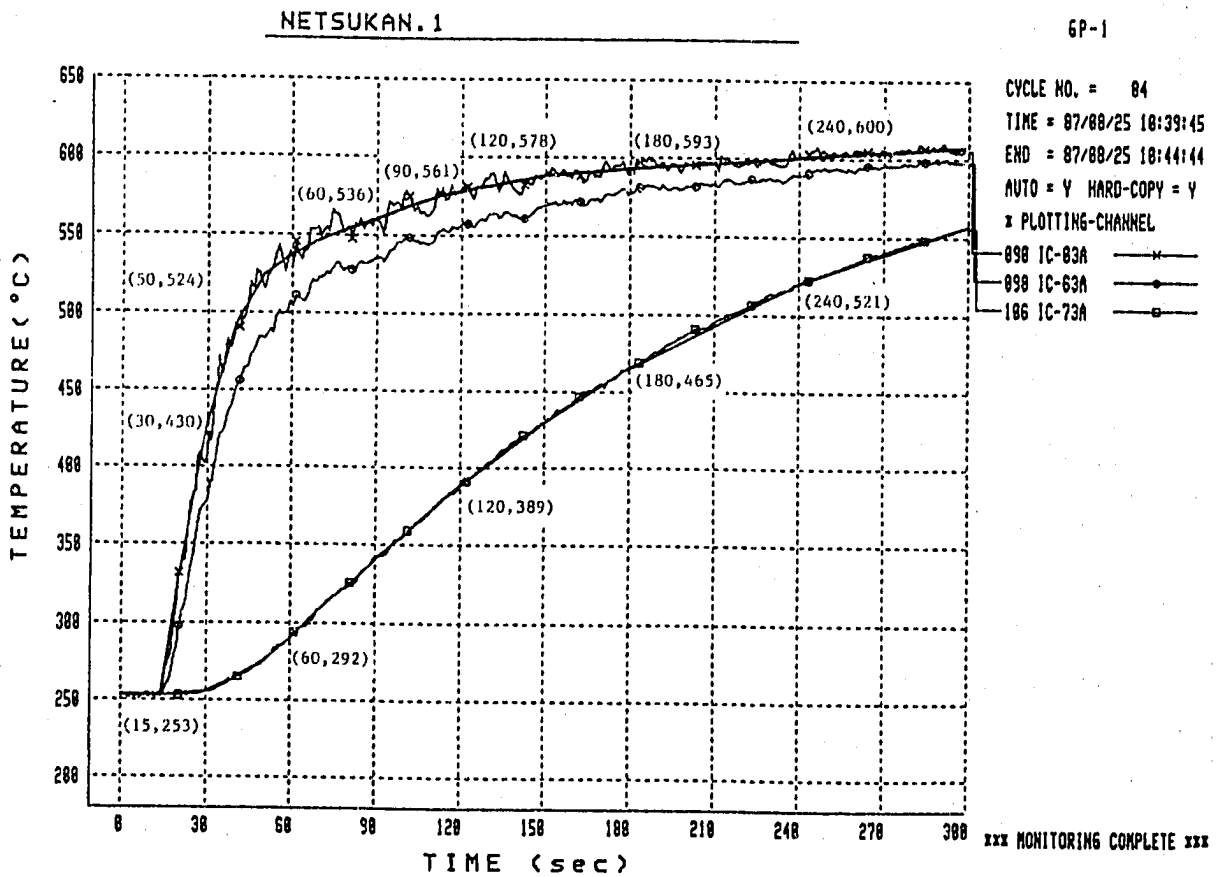
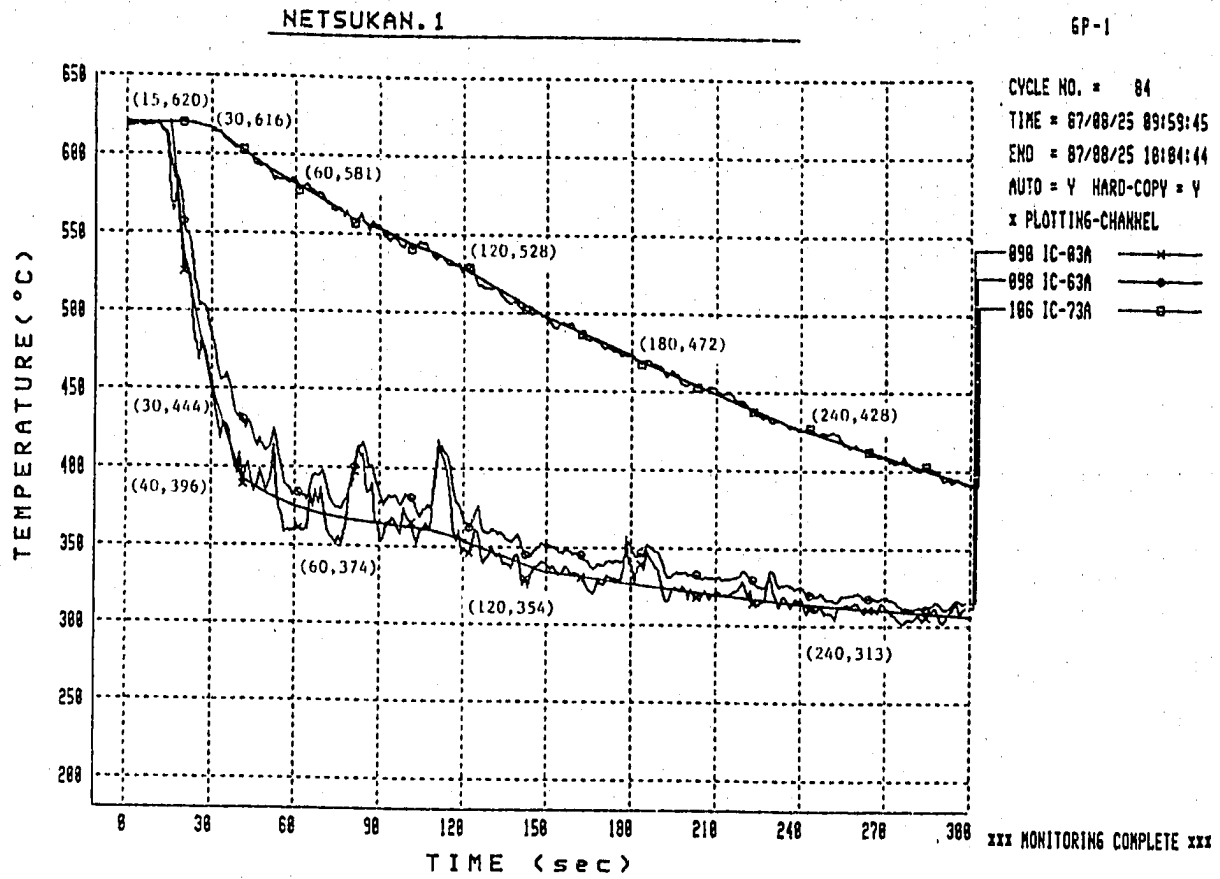


Fig. A.5.1 Thermal Transient Condition at IC-03A and IC-73A of Inner Shell

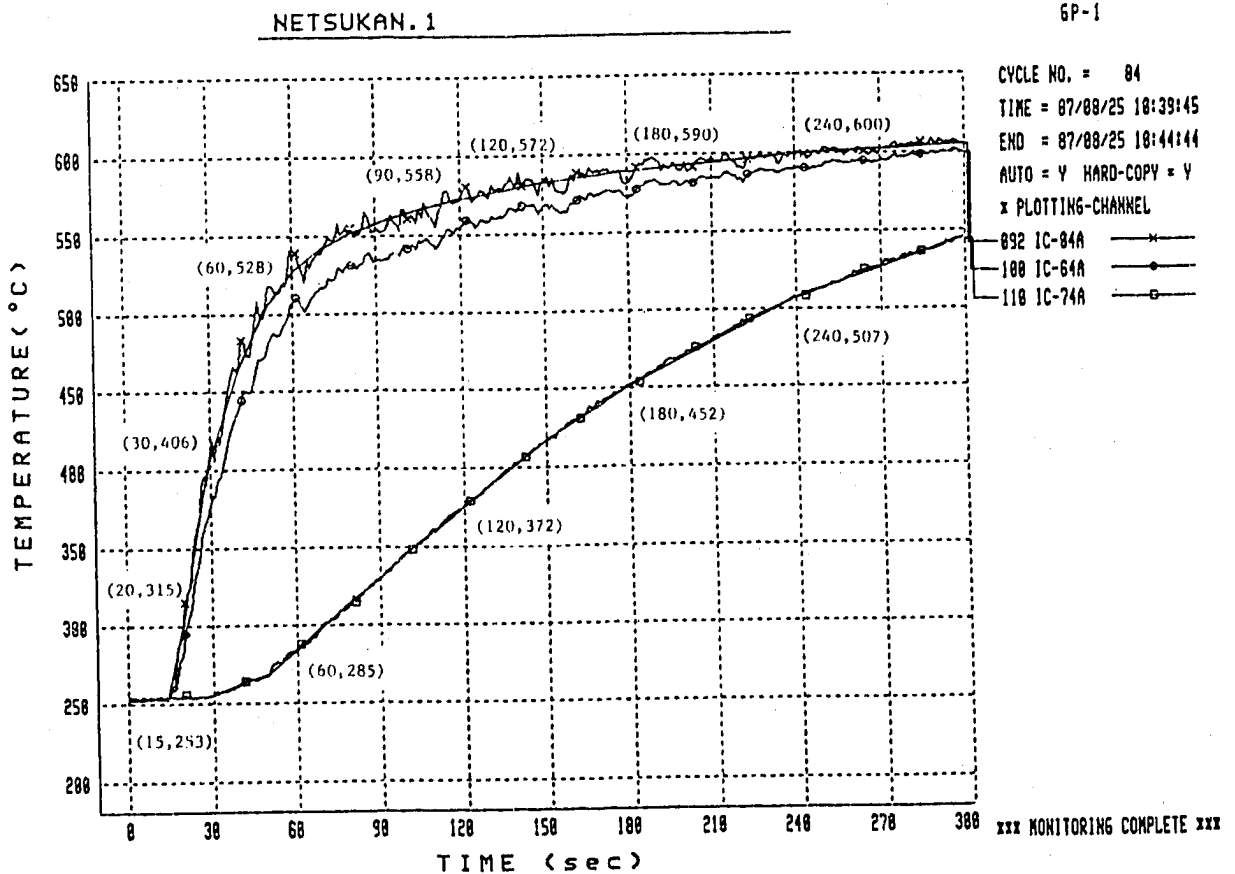
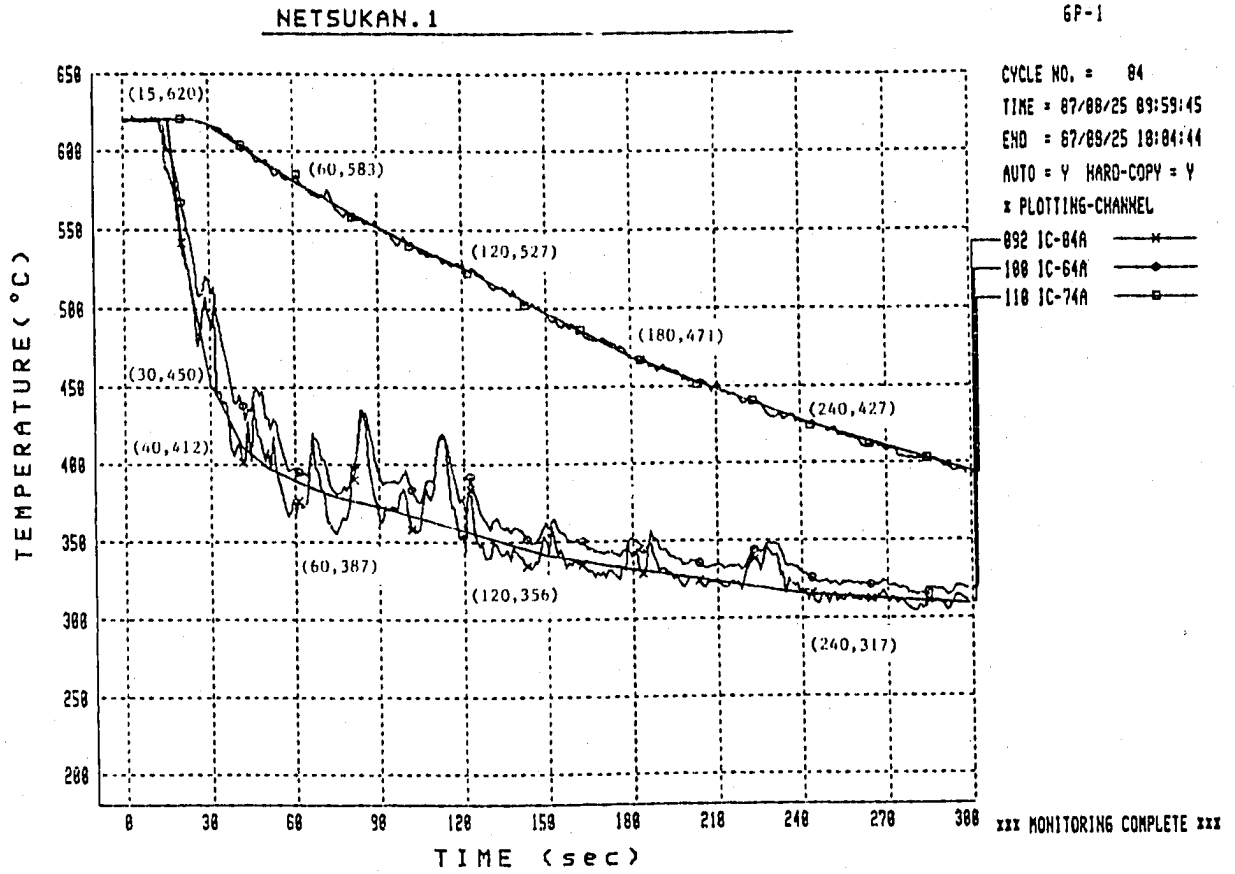


Fig. A.5.2 Thermal Transient Condition at IC-04A and IC-74A of Inner Shell

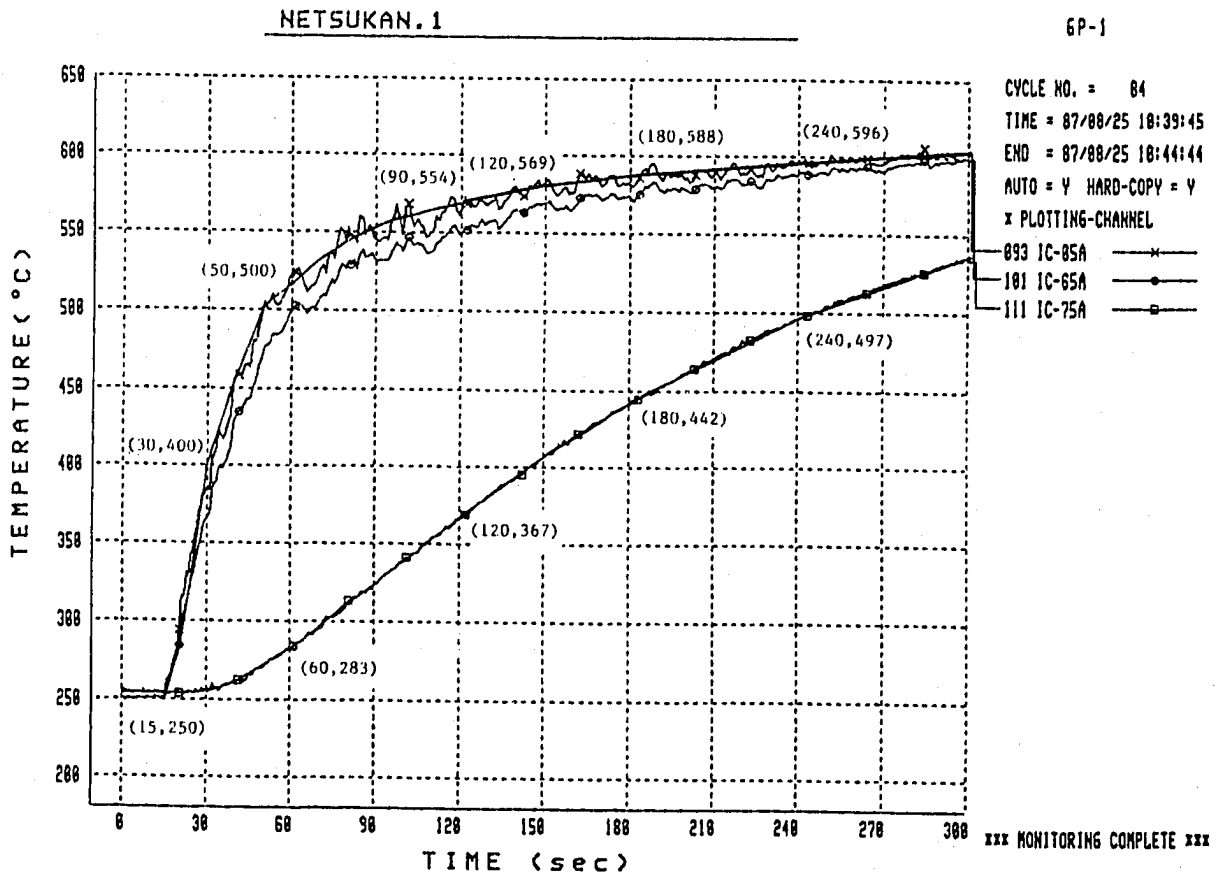
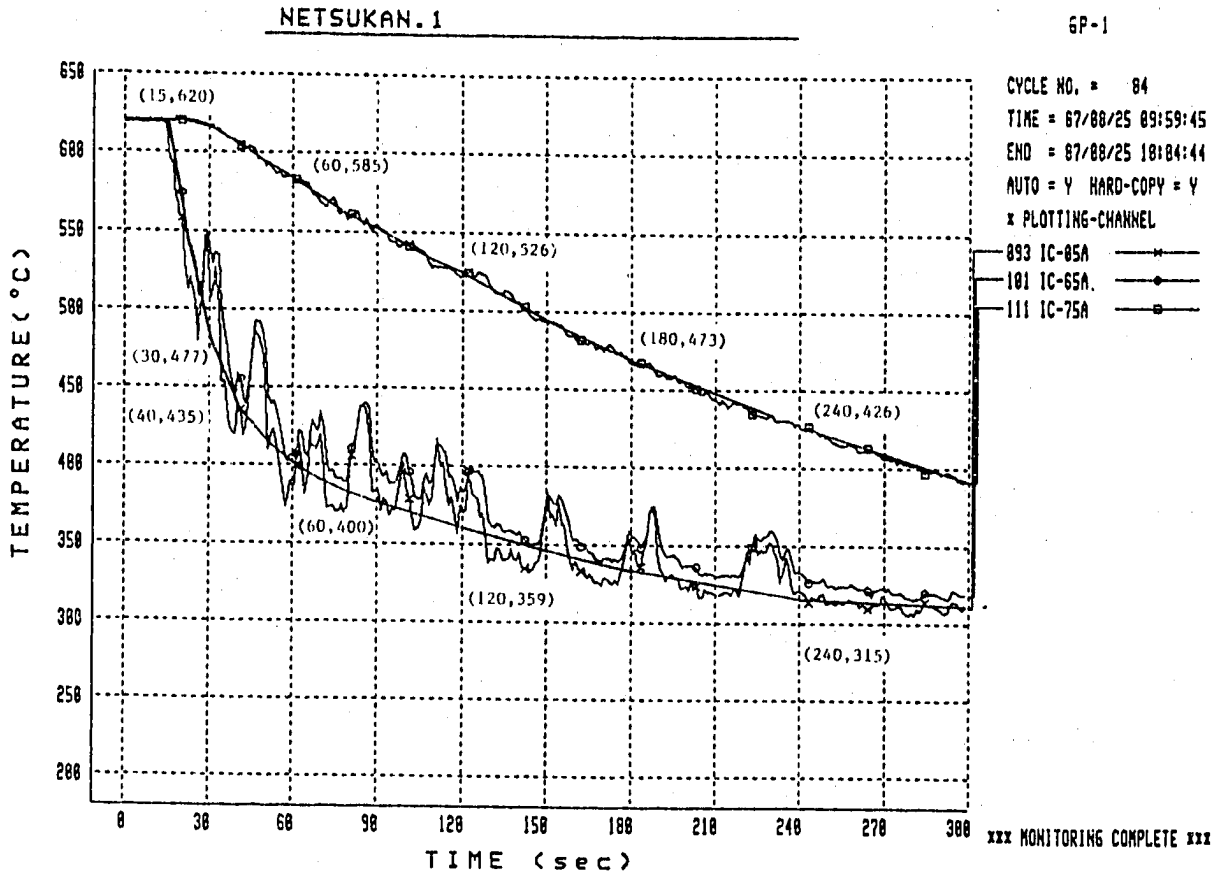


Fig. A.5.3 Thermal Transient Condition at IC-05A and IC-75A of Inner Shell

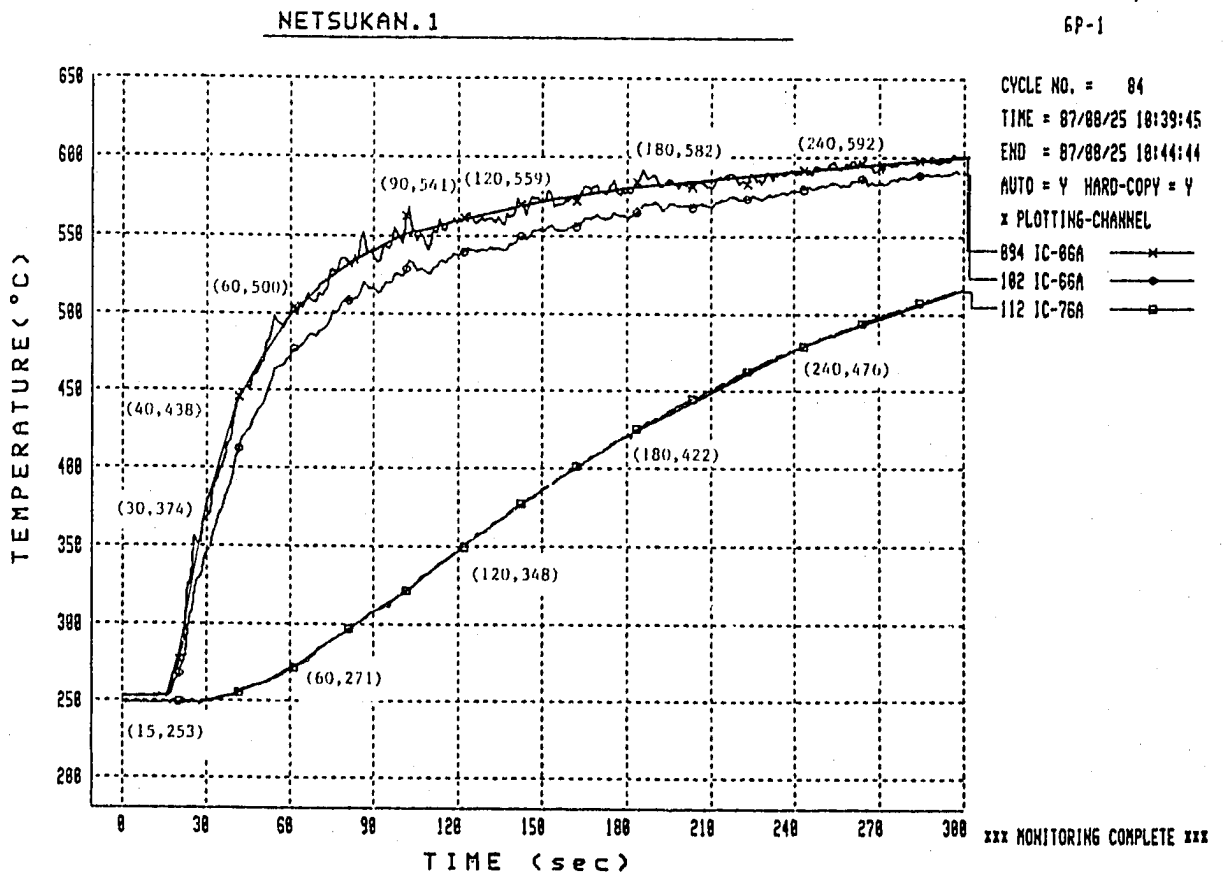
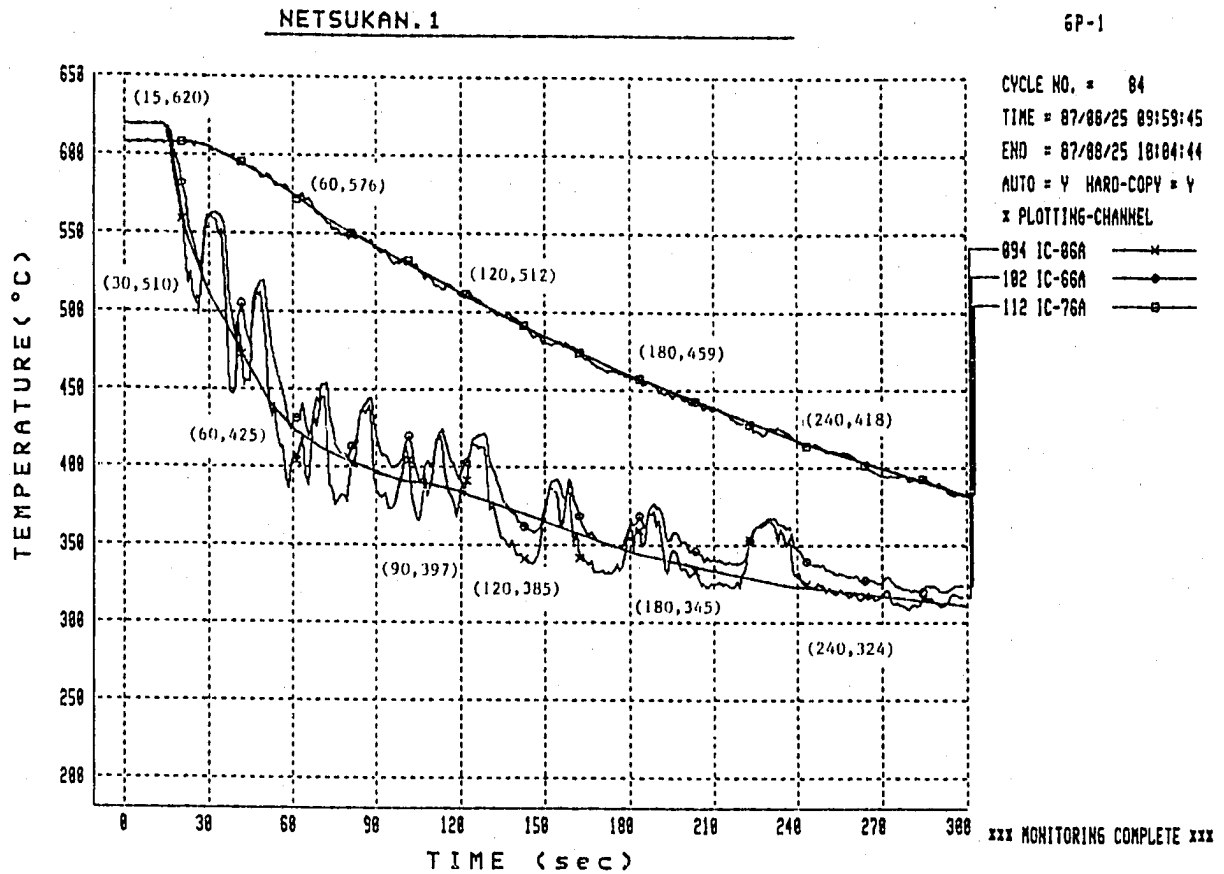


Fig. A.5.4 Thermal Transient Condition at IC-06A and IC-76A of Inner Shell

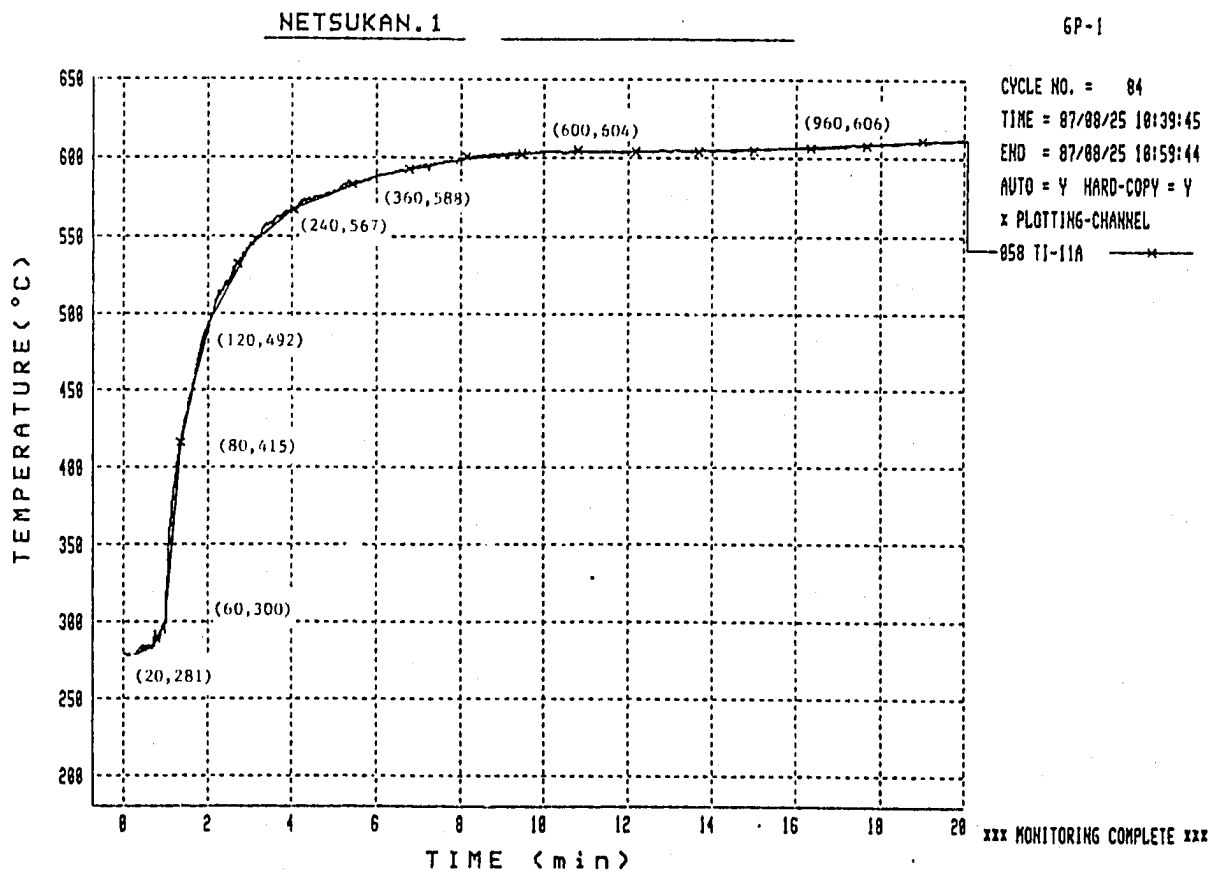
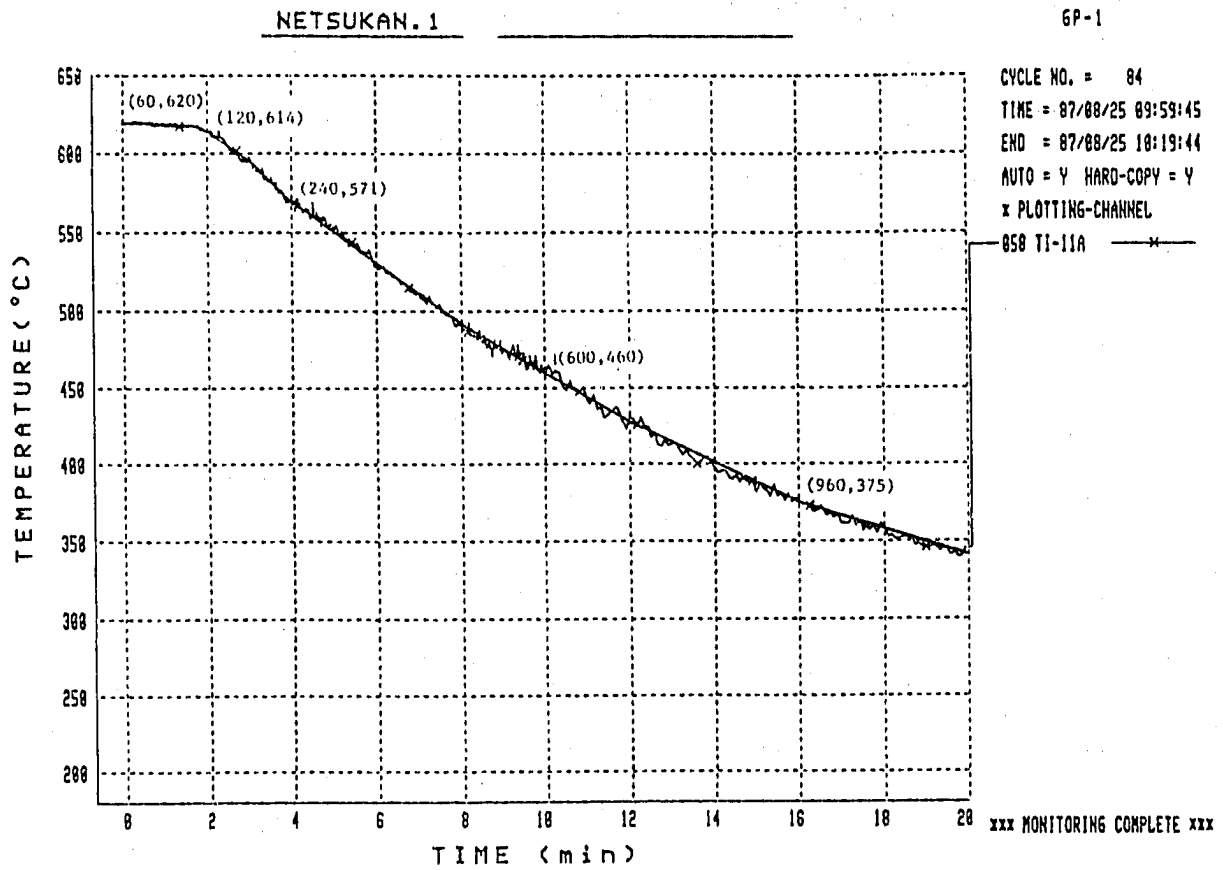


Fig. A.6.1 Thermal Transient Condition at TI-11A of Slitted Cylinder

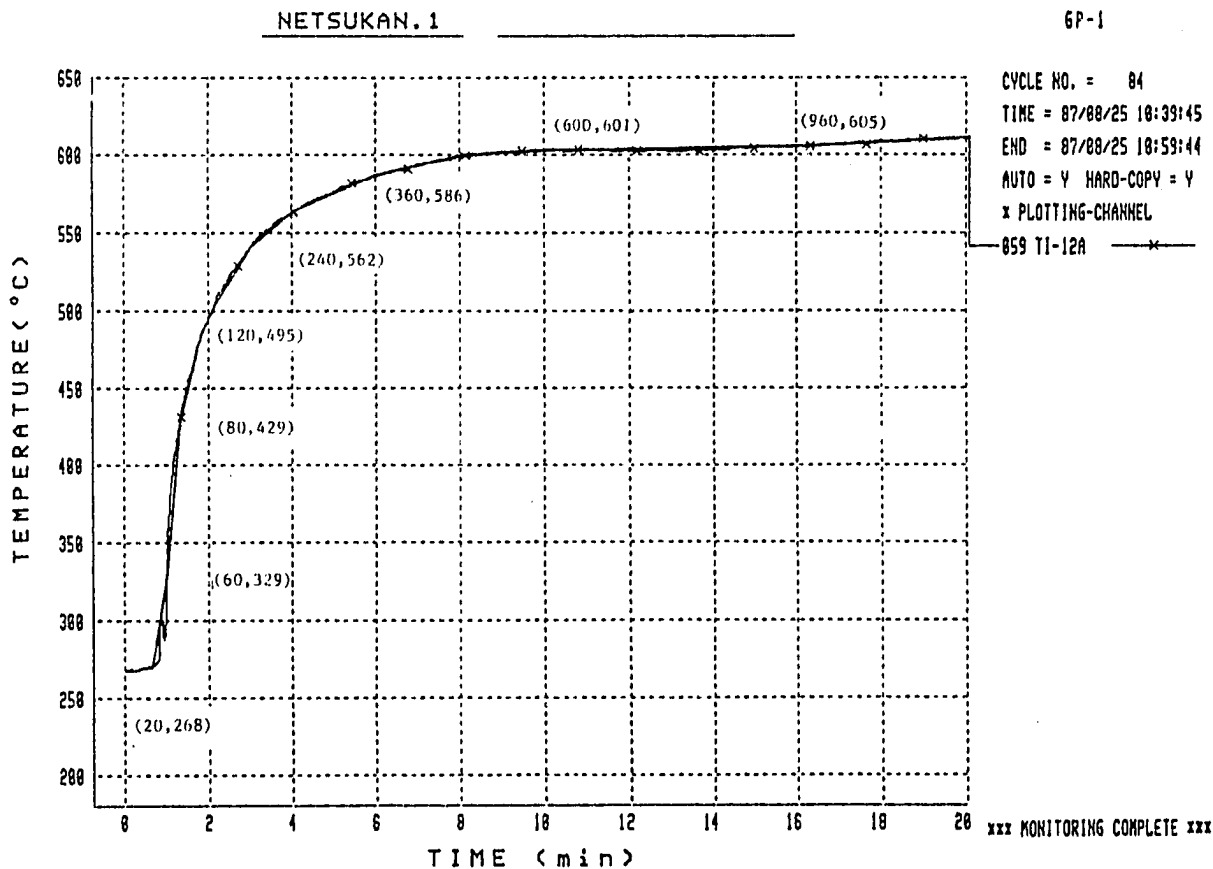
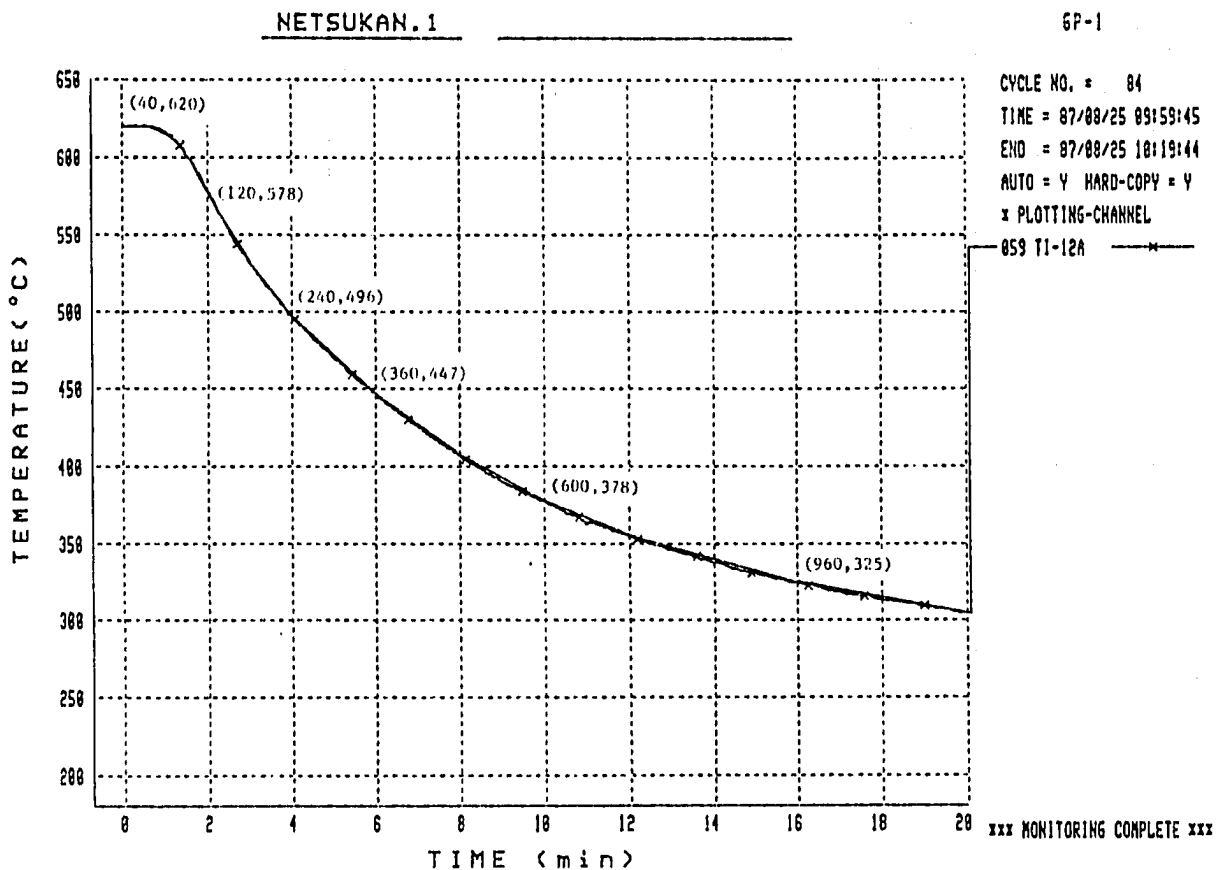


Fig. A.6.2 Thermal Transient Condition at TI-12A of Slitted Cylinder

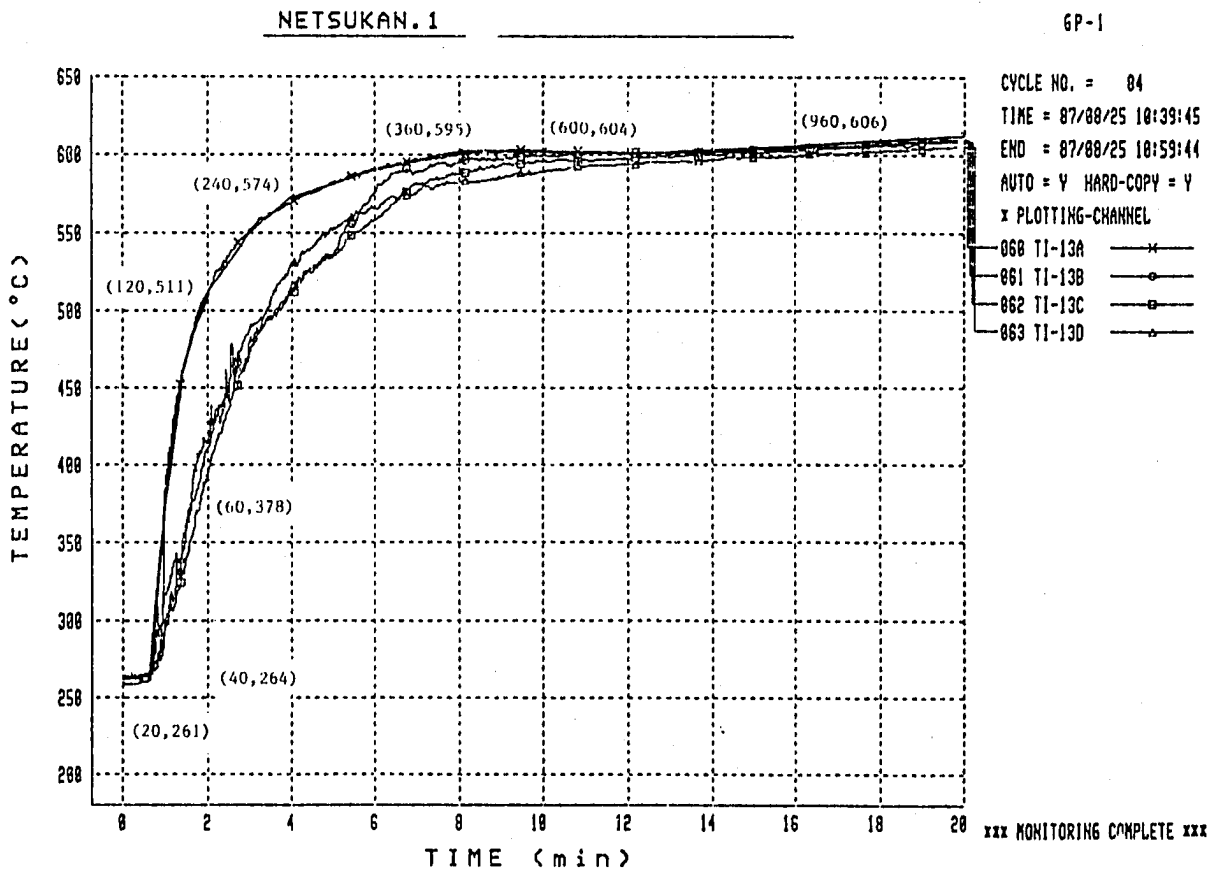
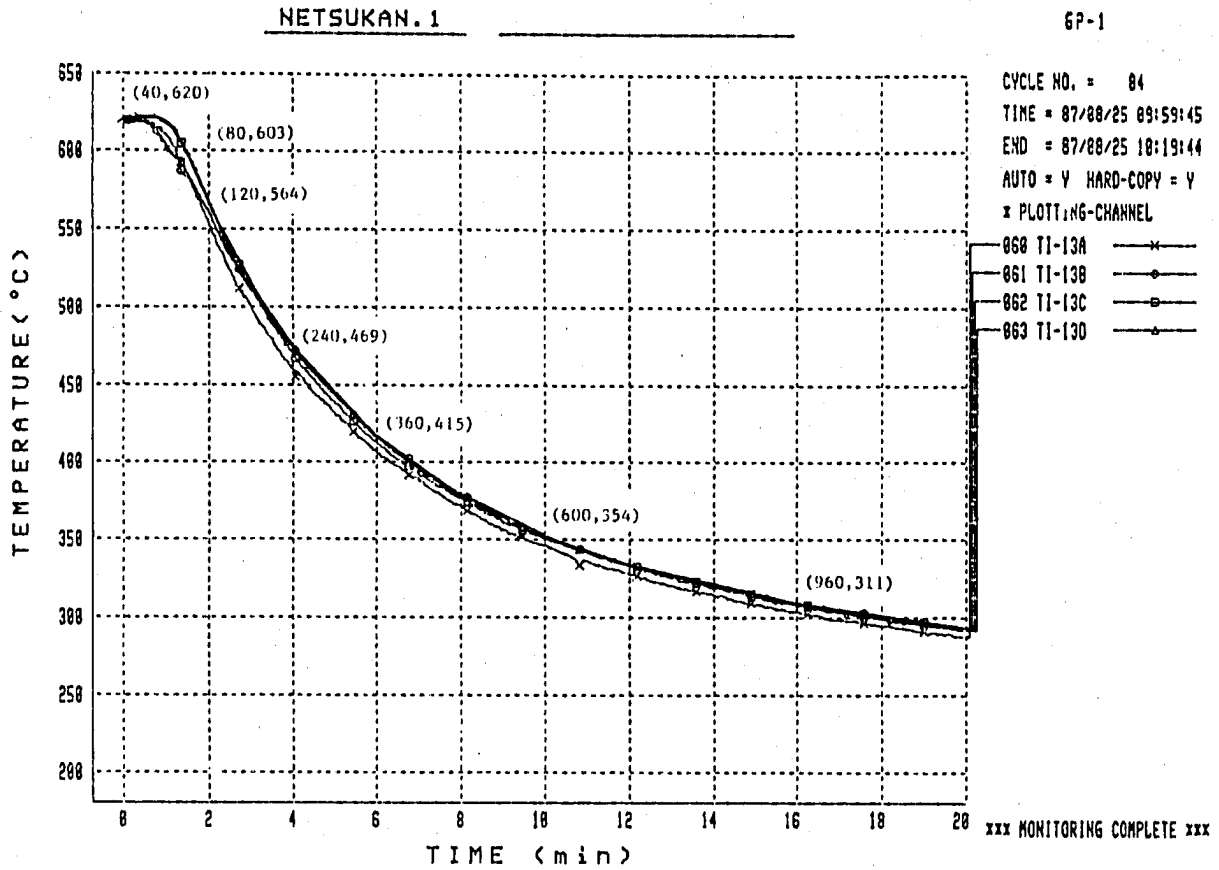


Fig. A.6.3 Thermal Transient Condition at TI-13A of Slitted Cylinder

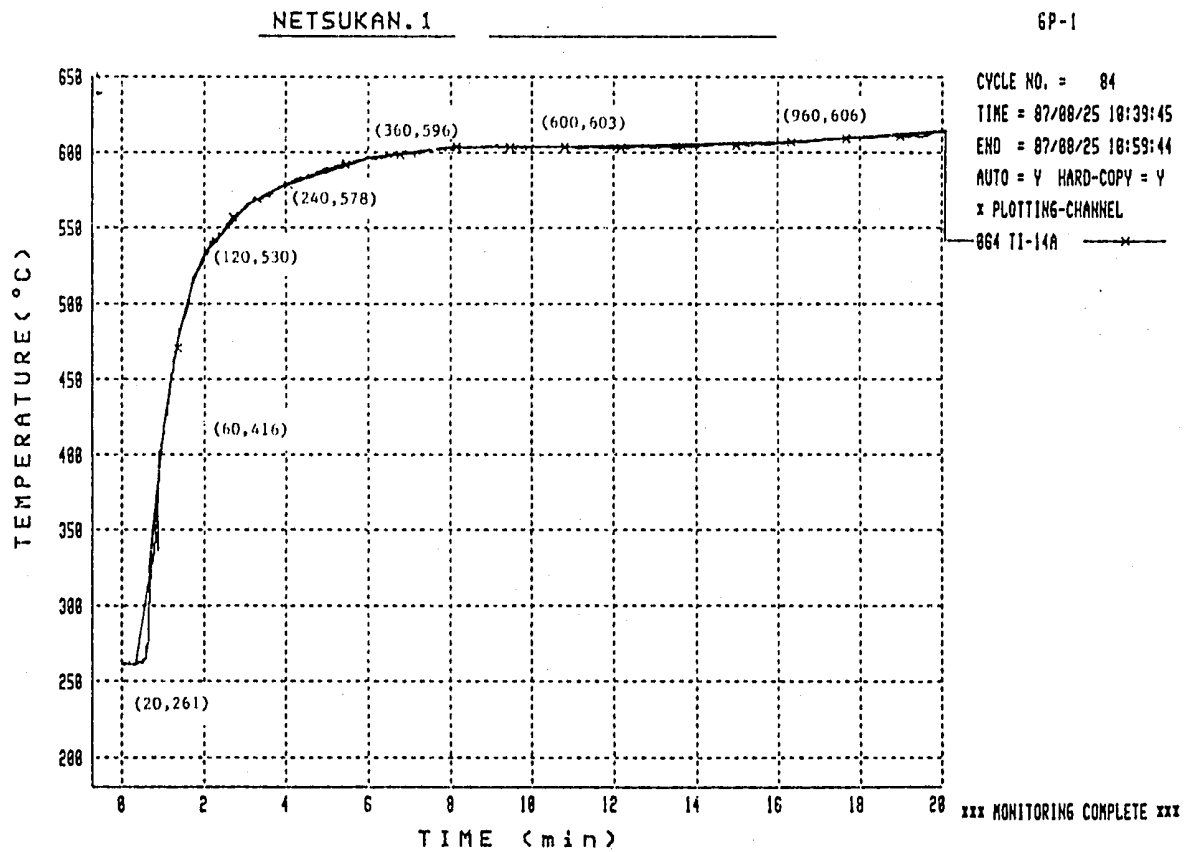
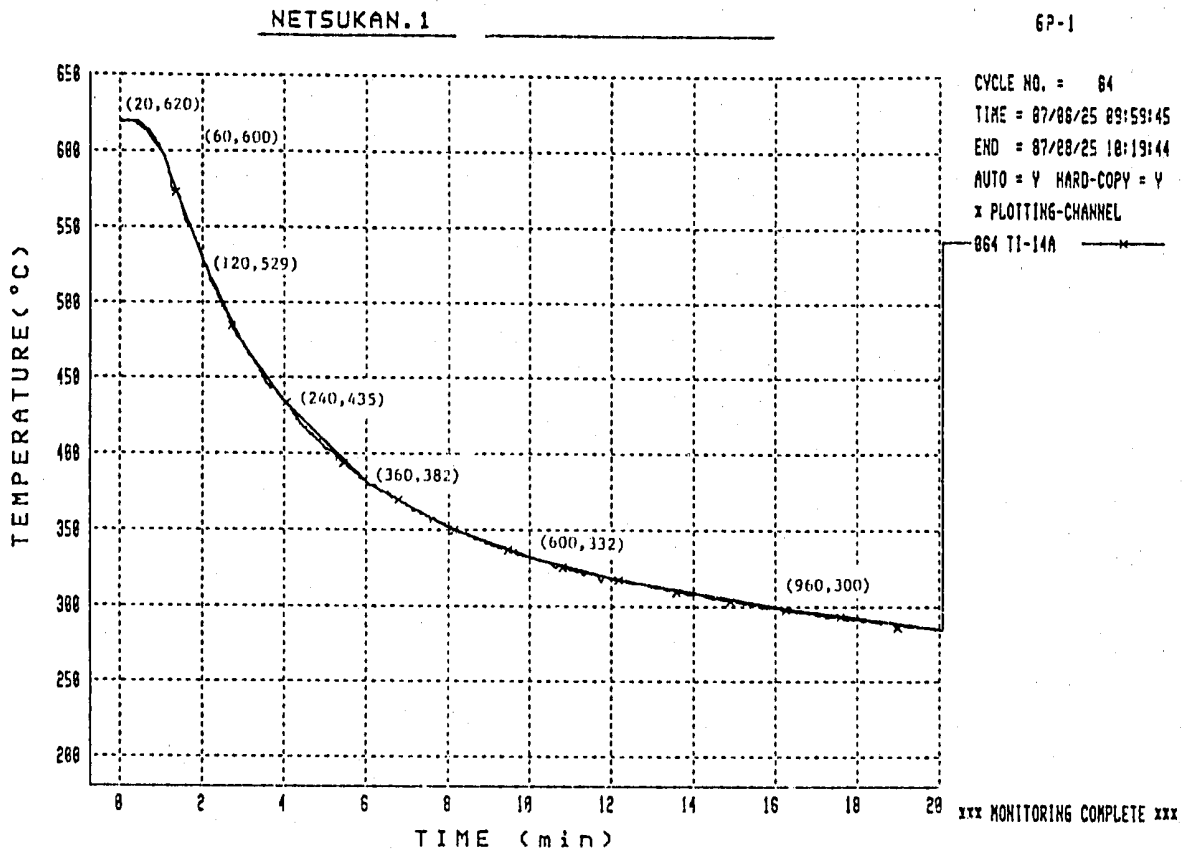


Fig. A.6.4 Thermal Transient Condition at TI-14A of Slitted Cylinder

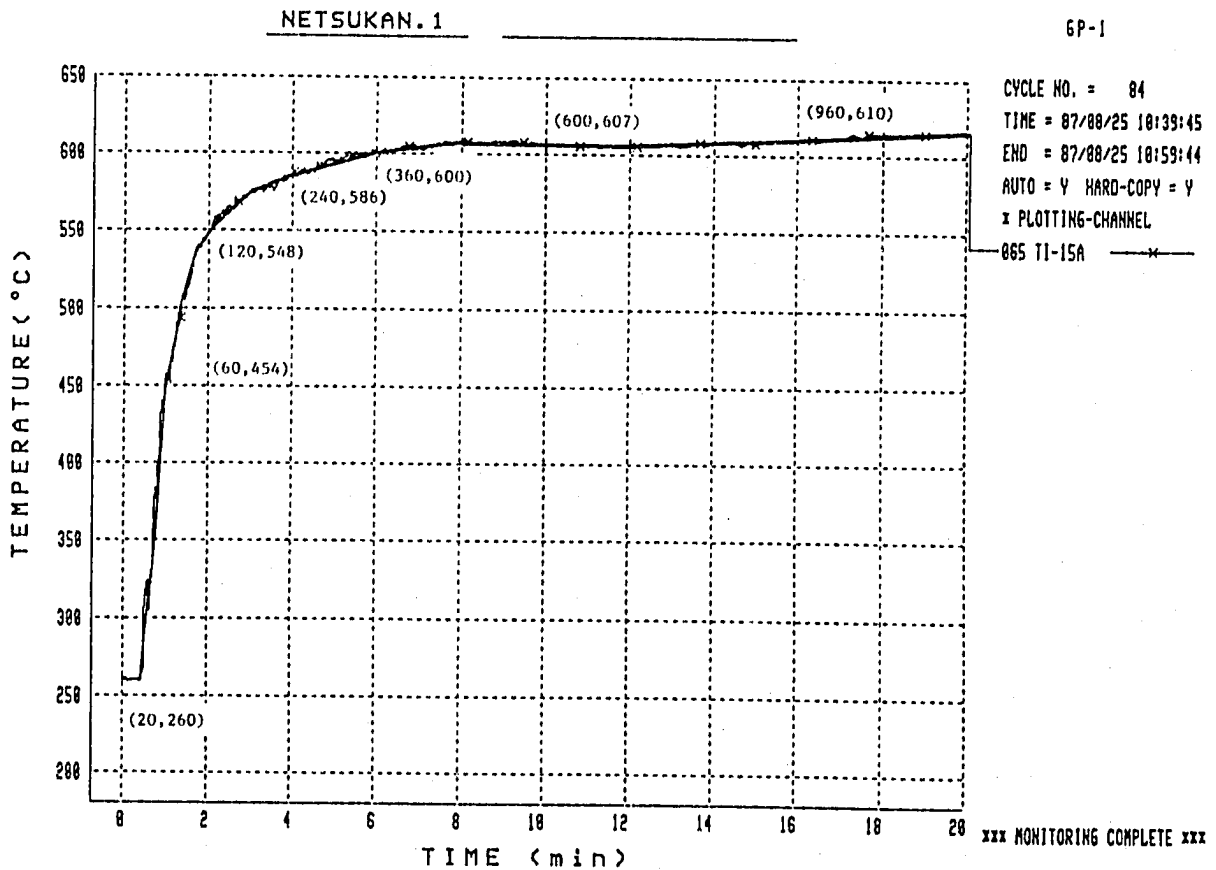
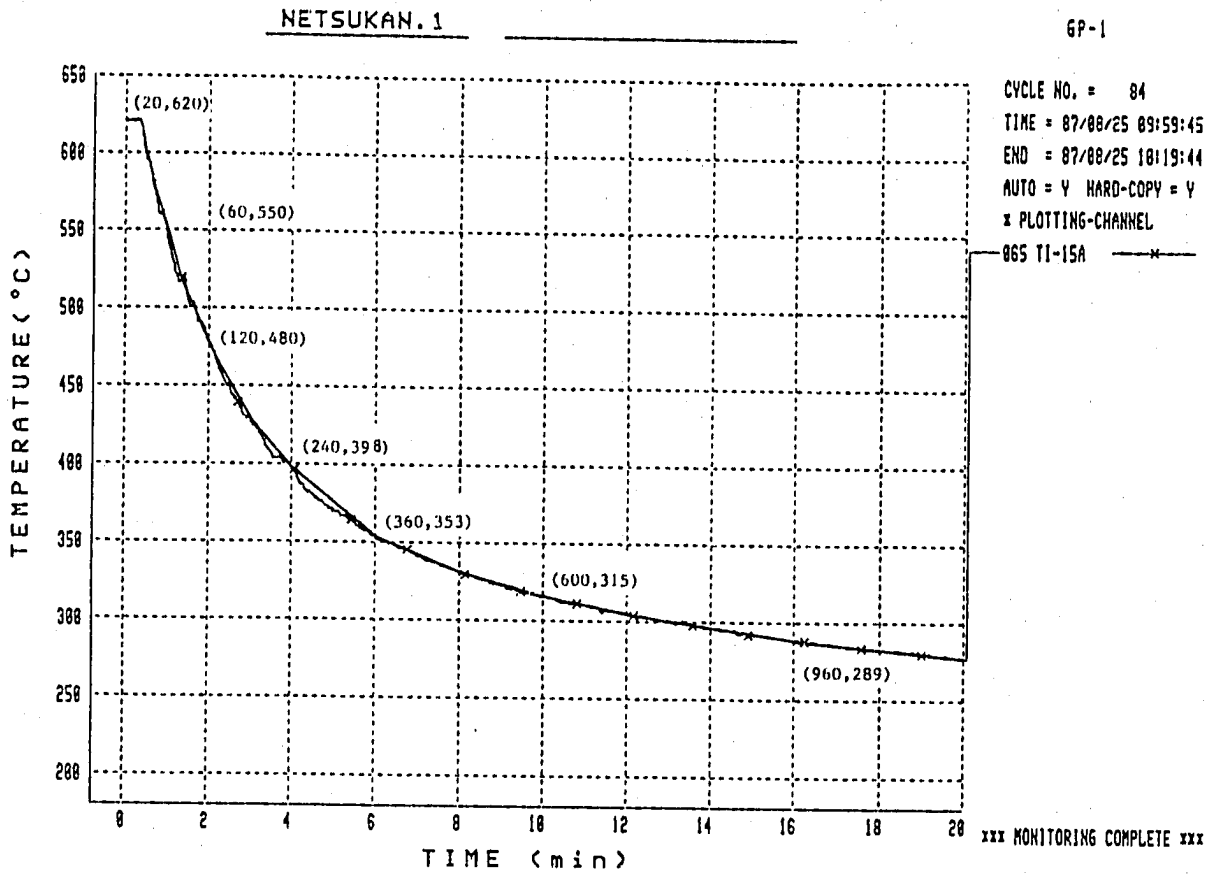


Fig. A.6.5 Thermal Transient Condition at TI-15A of Slitted Cylinder

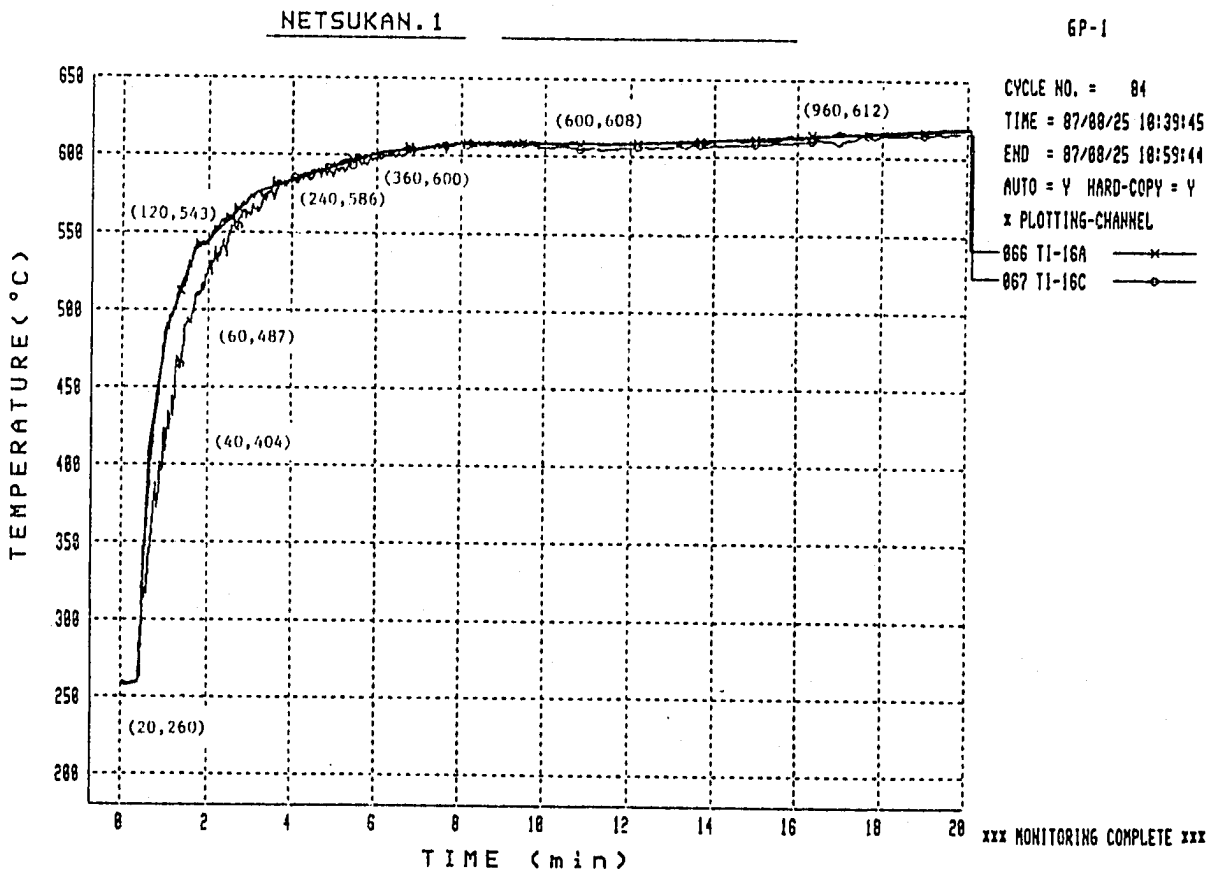
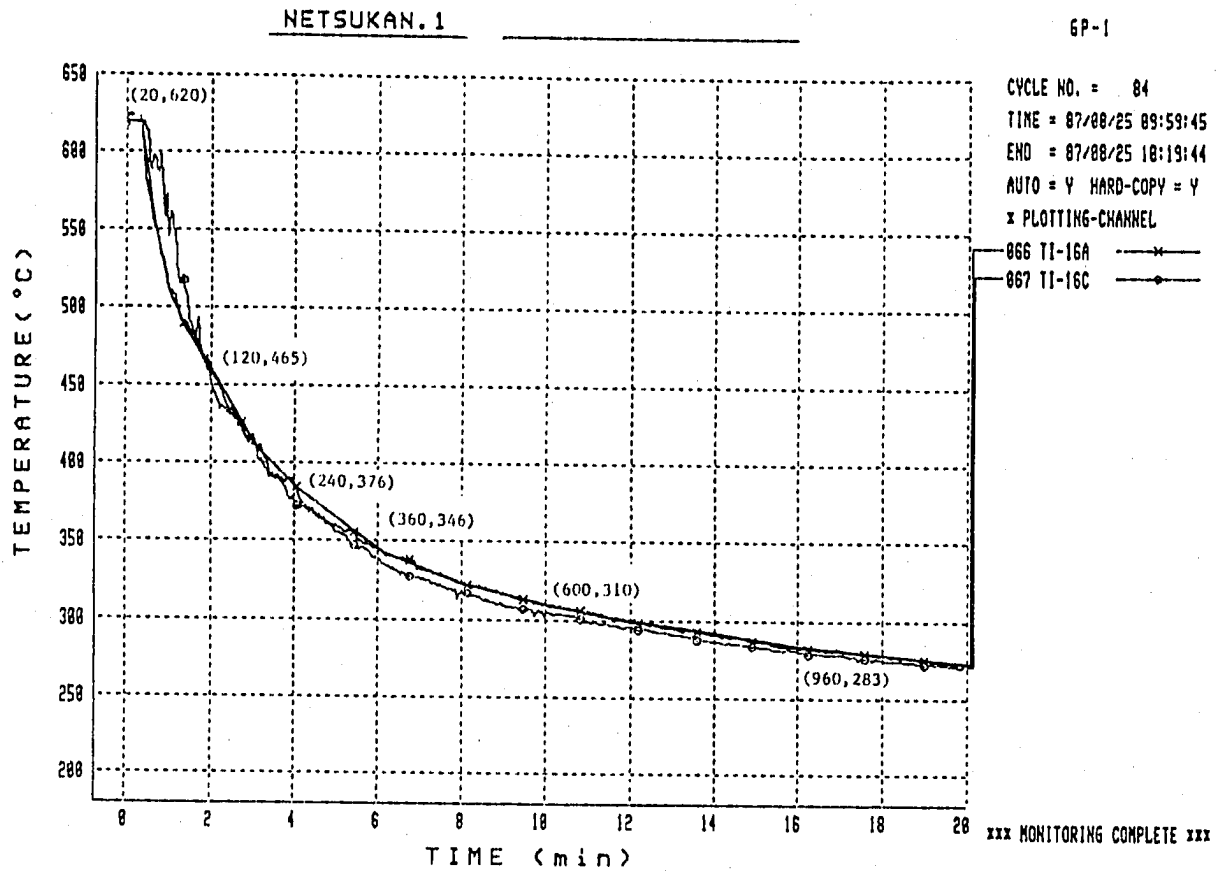


Fig. A.6.6 Thermal Transient Condition at TI-16A of Slitted Cylinder

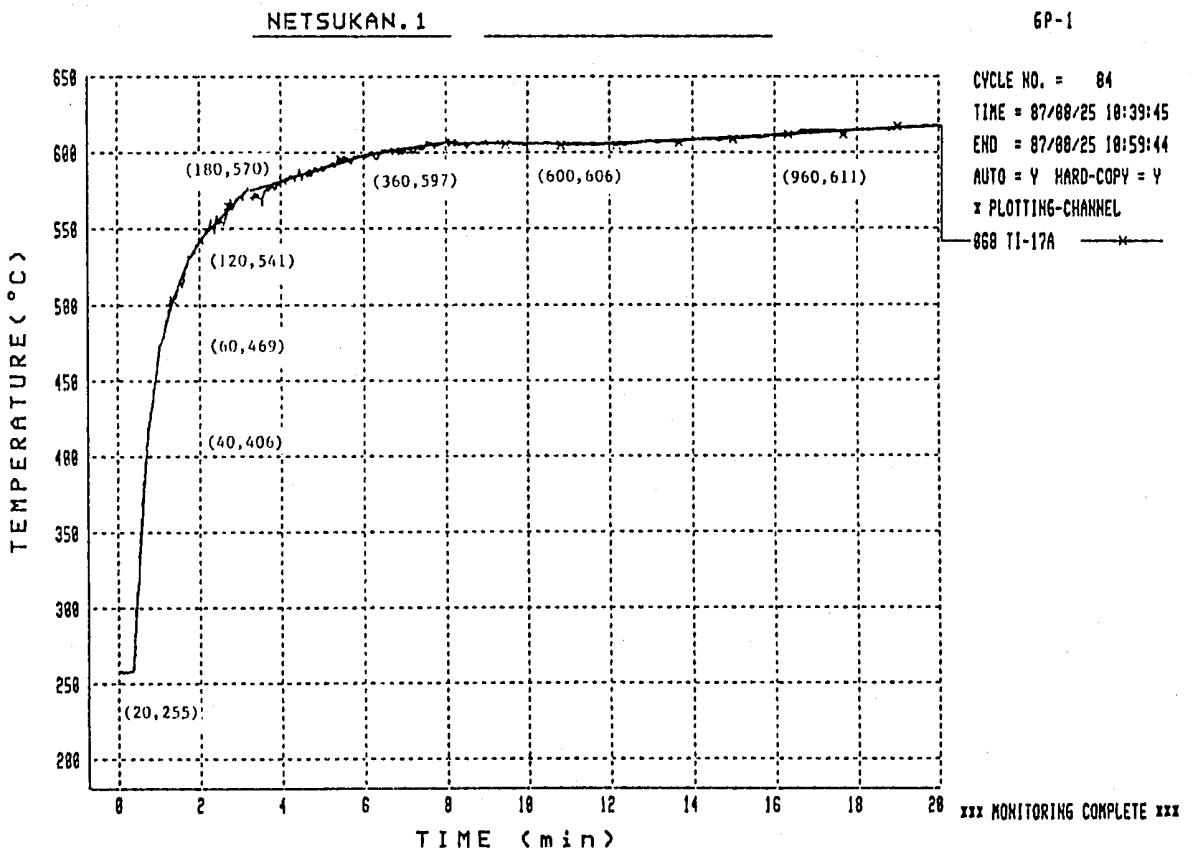
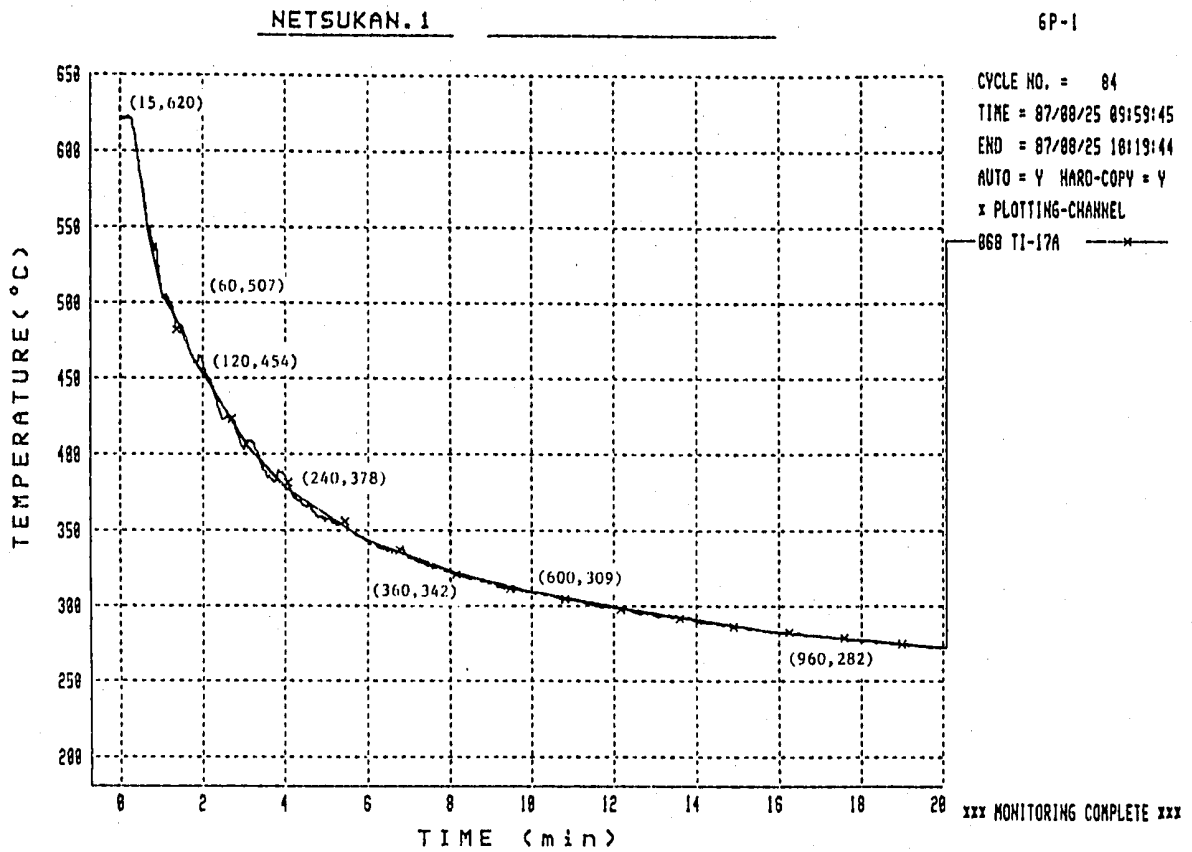


Fig. A.6.7 Thermal Transient Condition at TI-17A of Slitted Cylinder

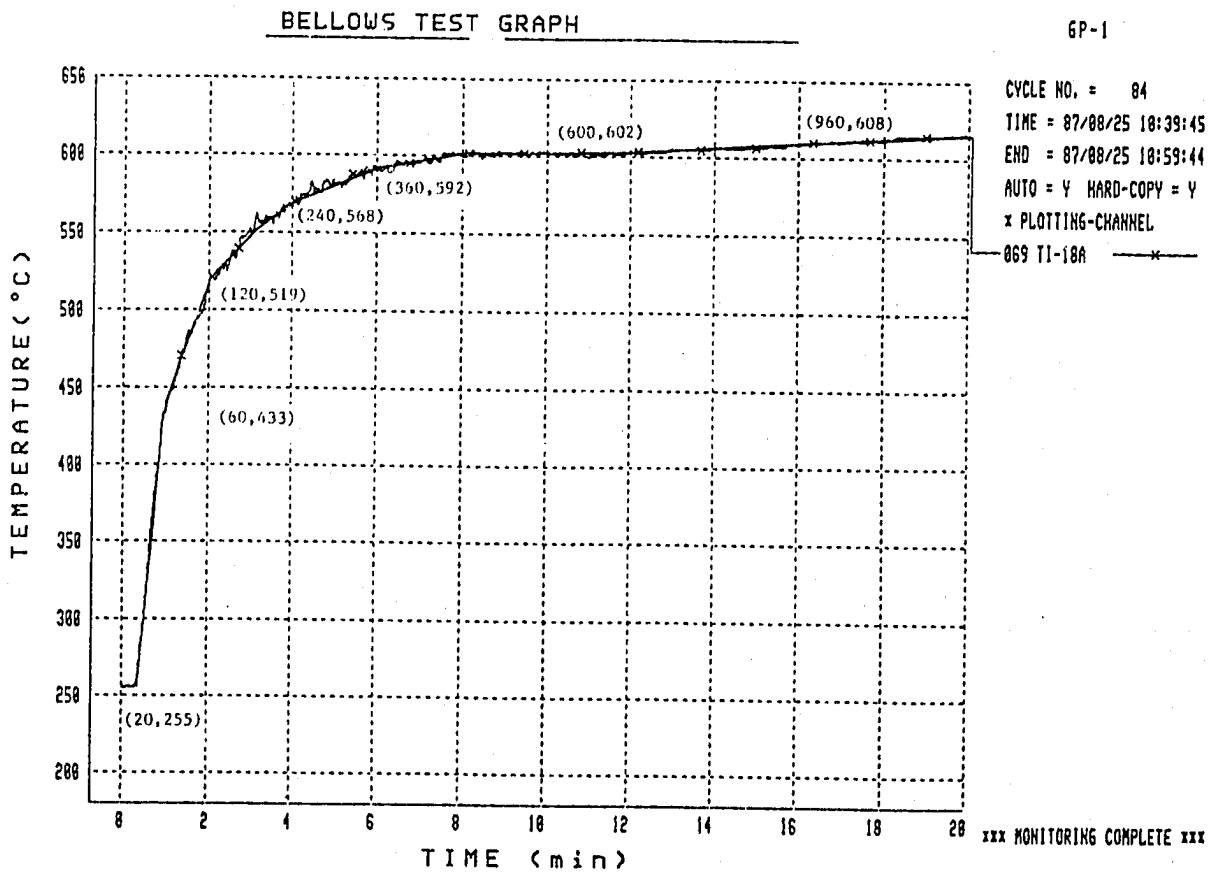
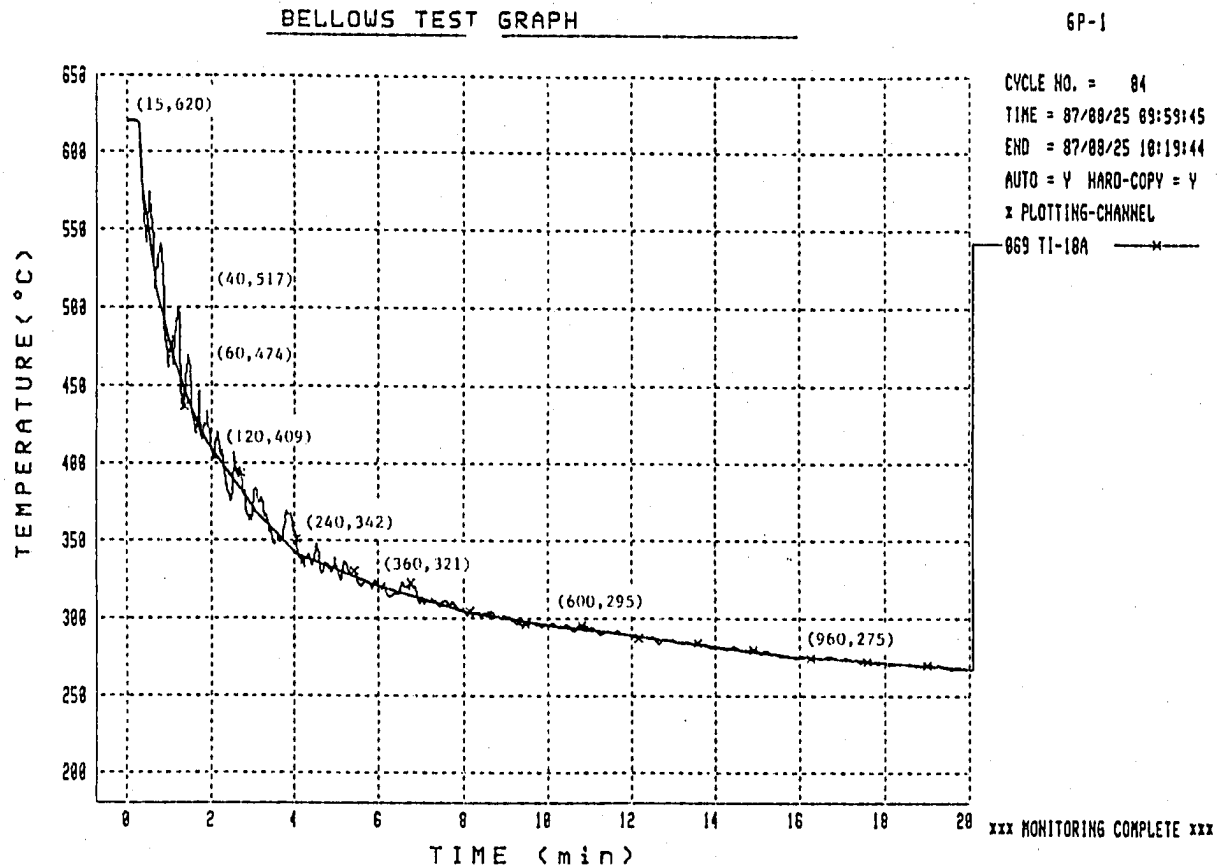


Fig. A.6.8 Thermal Transient Condition at TI-18A of Slitted Cylinder

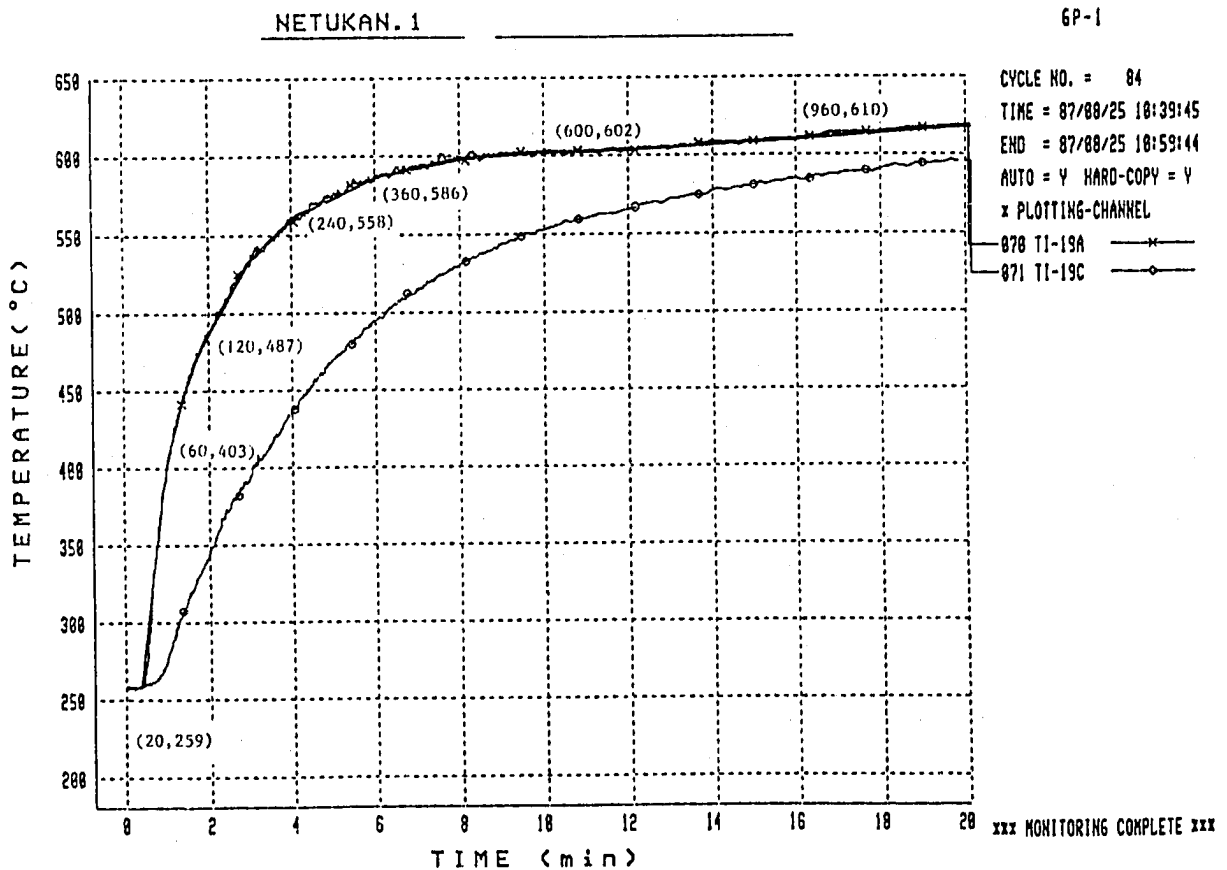
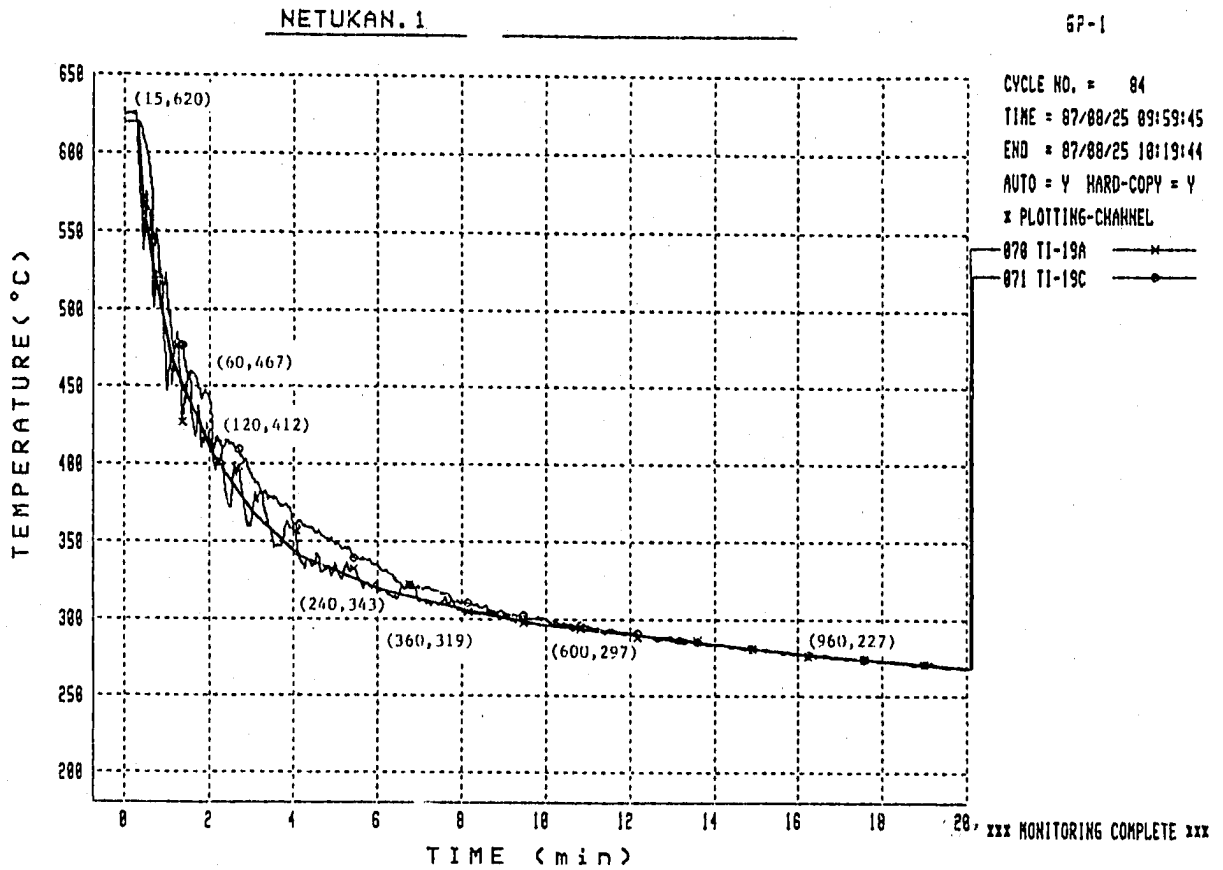


Fig. A.6.9 Thermal Transient Condition at TI-19A of Slitted Cylinder

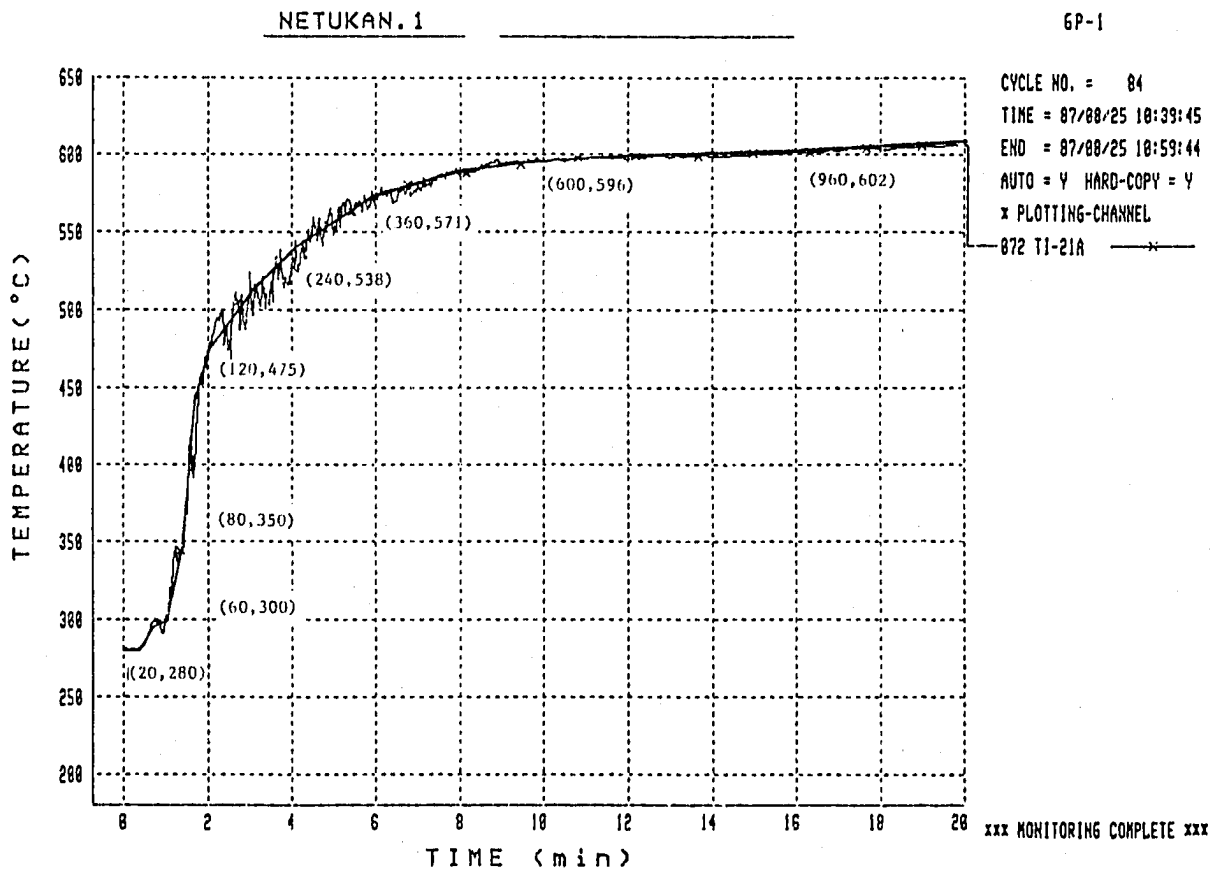
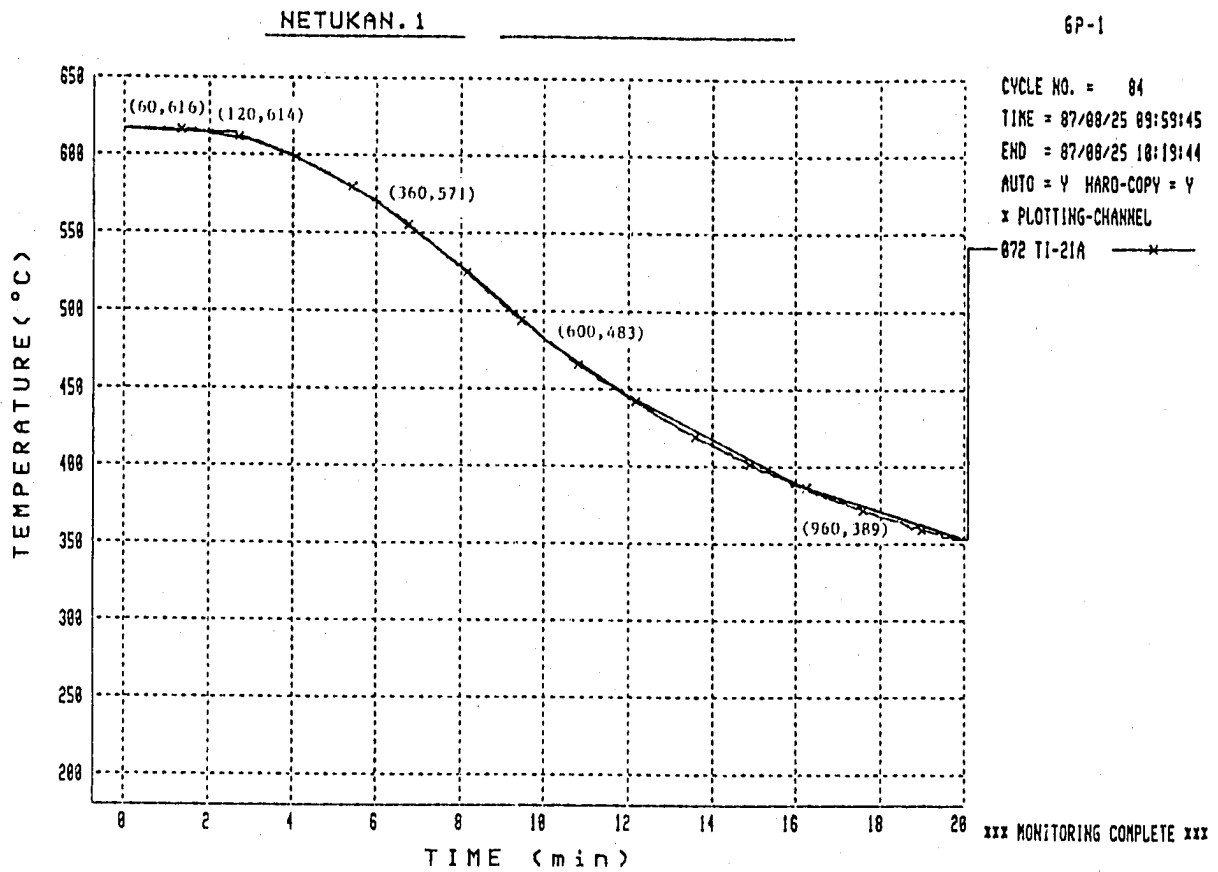


Fig. A.6.10 Thermal Transient Condition at TI-21A of Slitted Cylinder

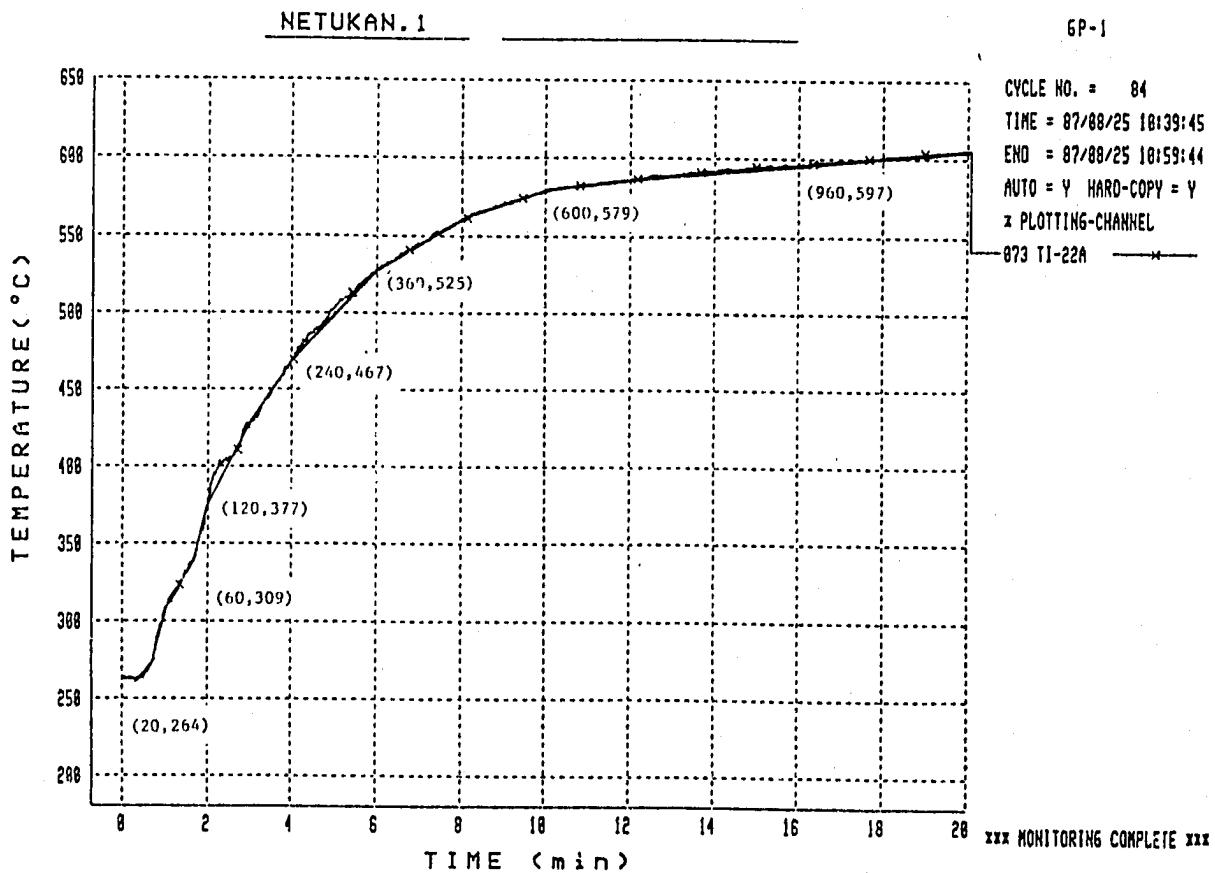
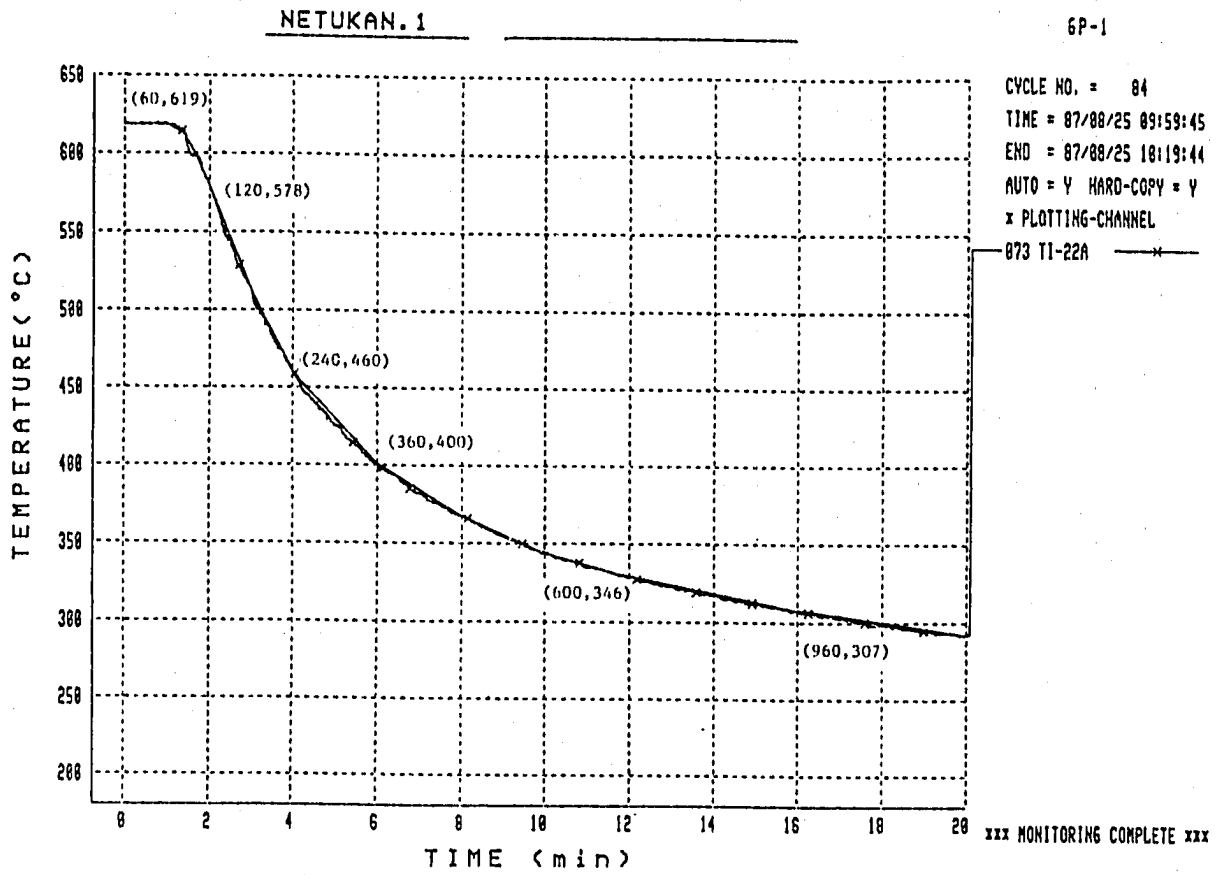


Fig. A.6.11 Thermal Transient Condition at TI-22A of Slitted Cylinder

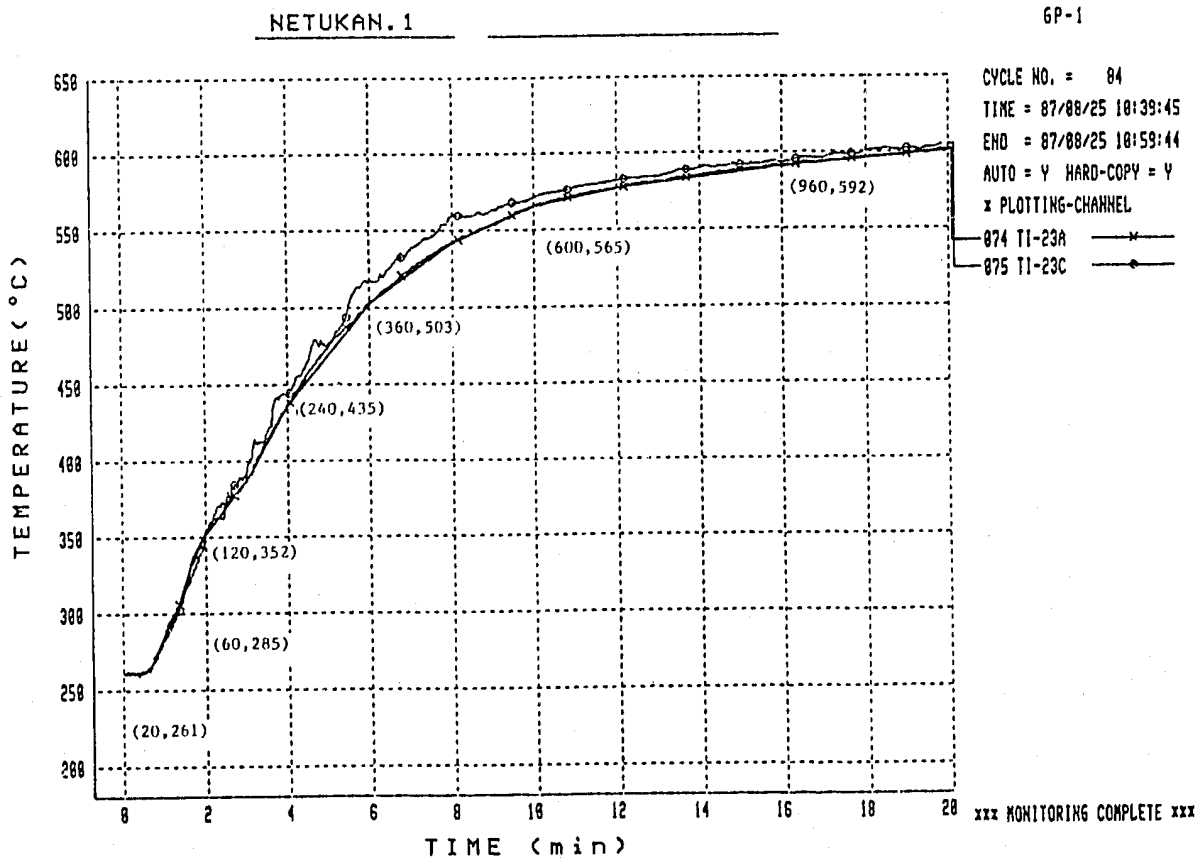
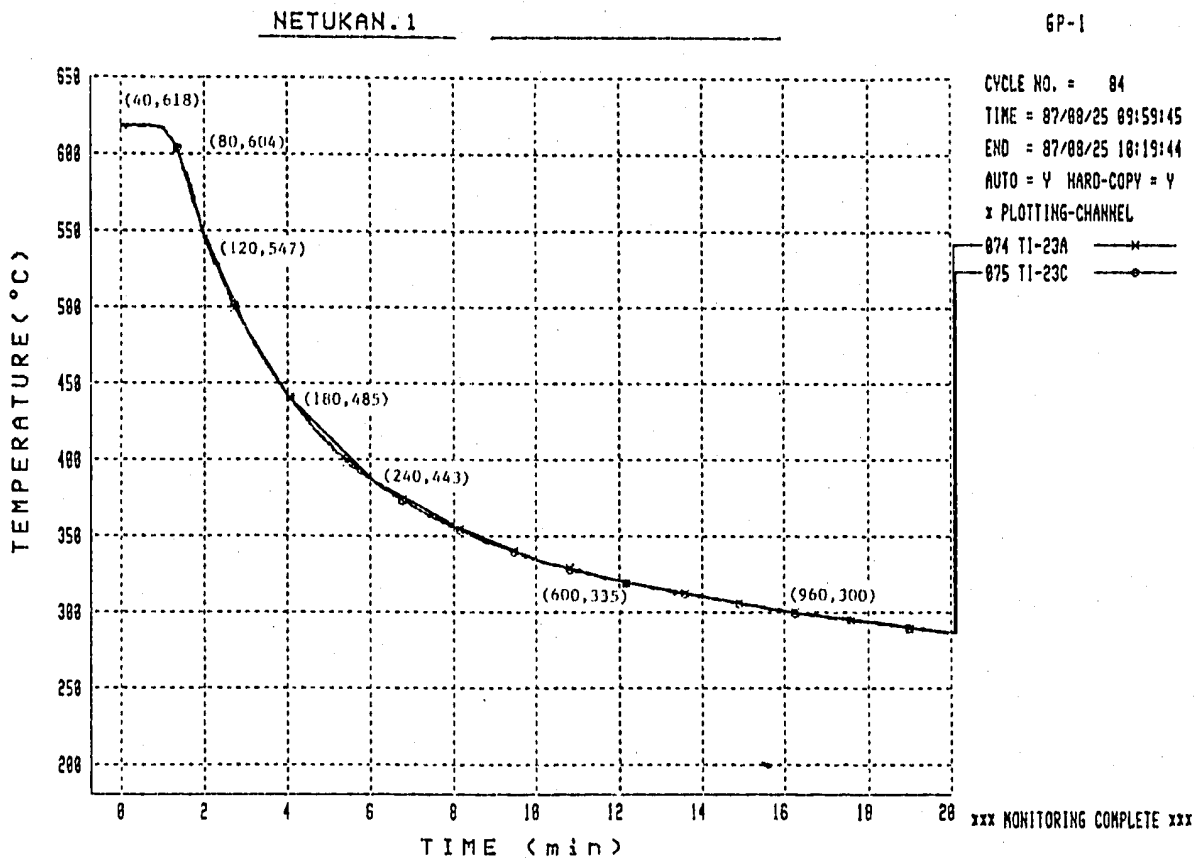


Fig. A.6.12 Thermal Transient Condition at TI-23A of Slitted Cylinder

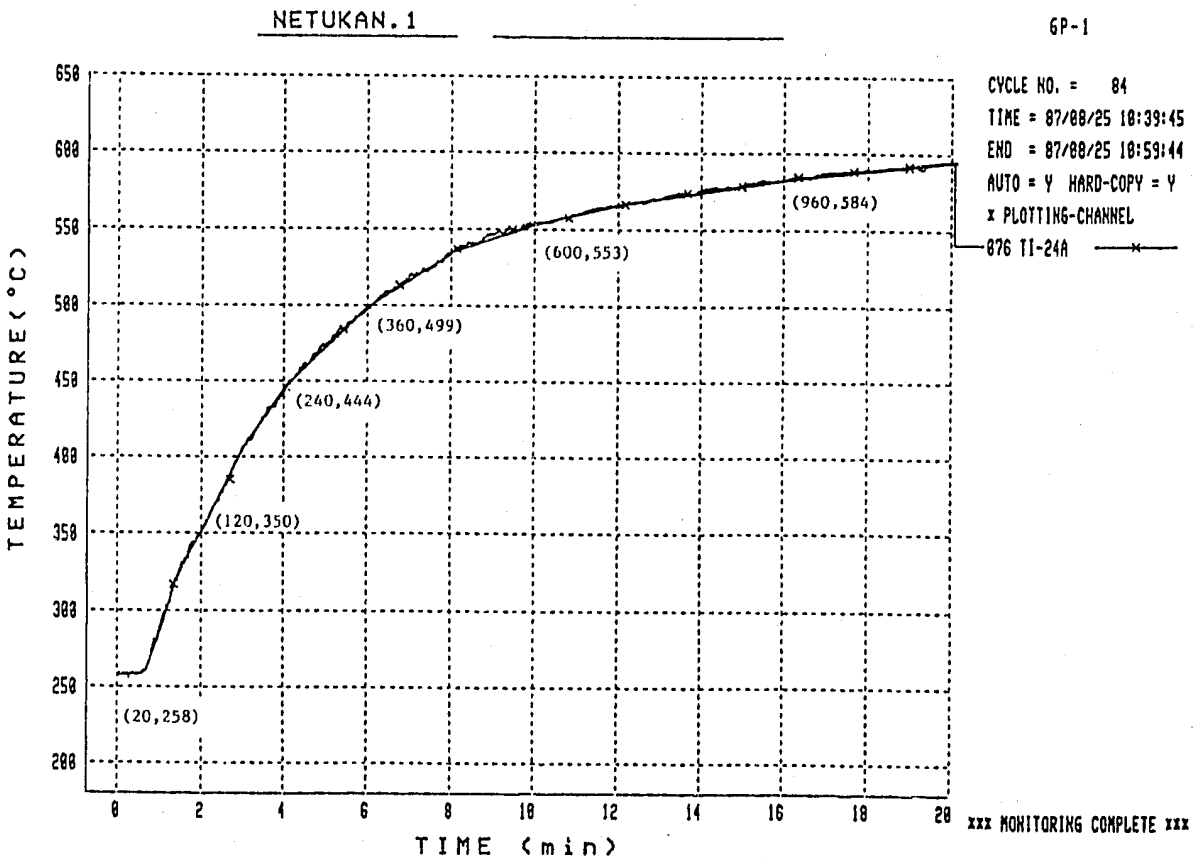
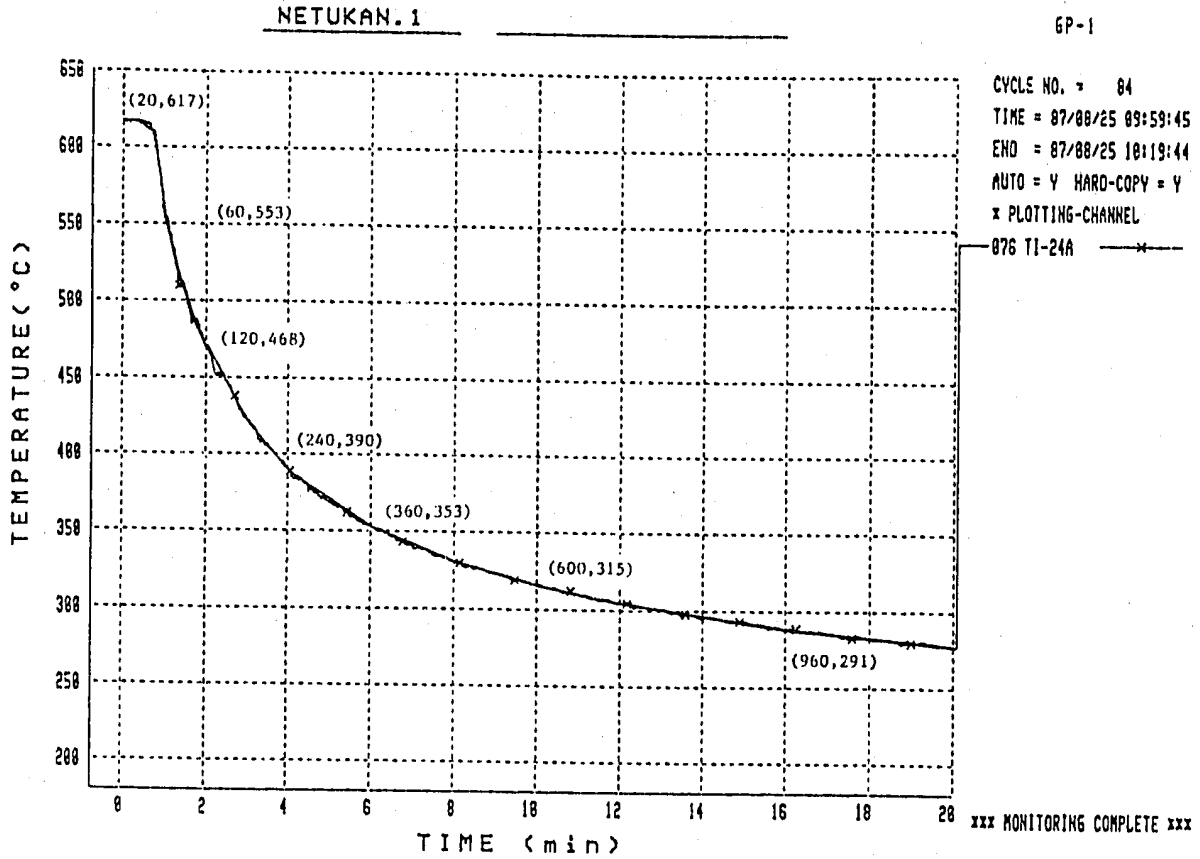


Fig. A.6.13 Thermal Transient Condition at TI-24A of Slitted Cylinder

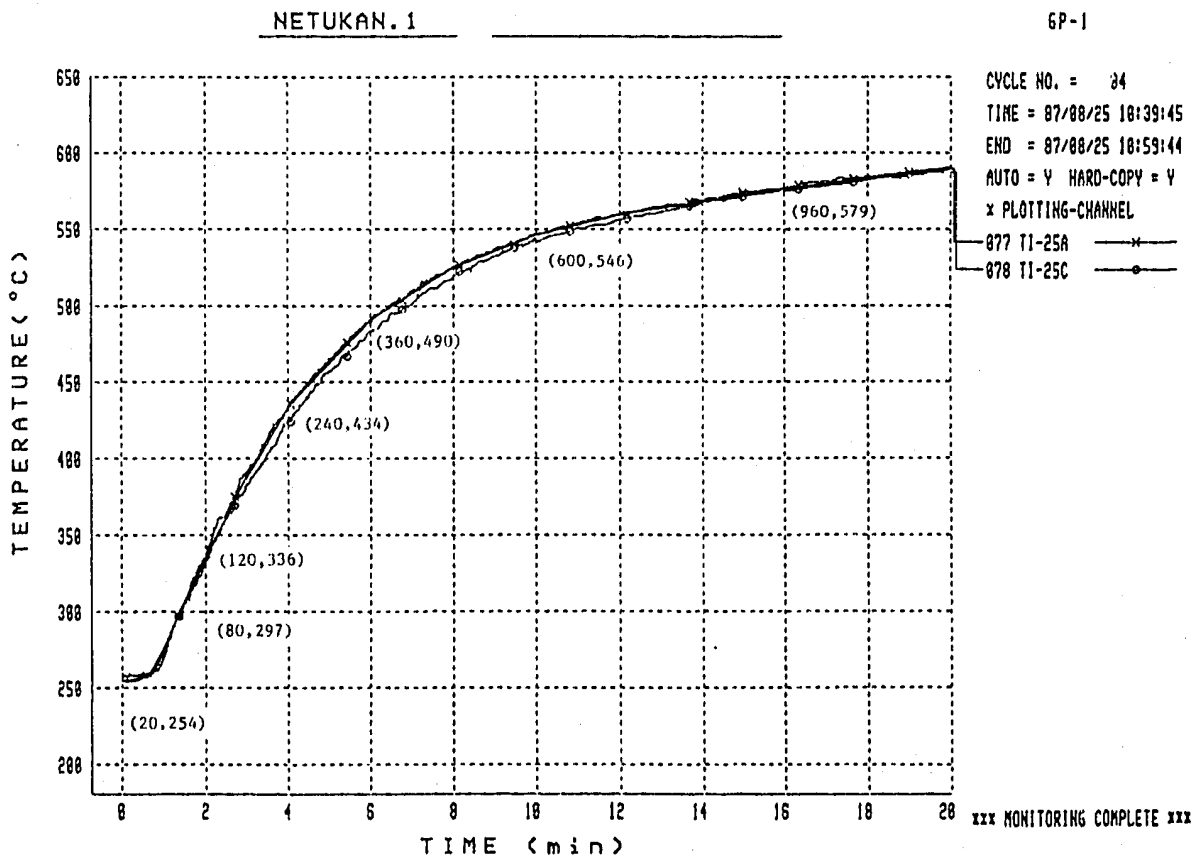
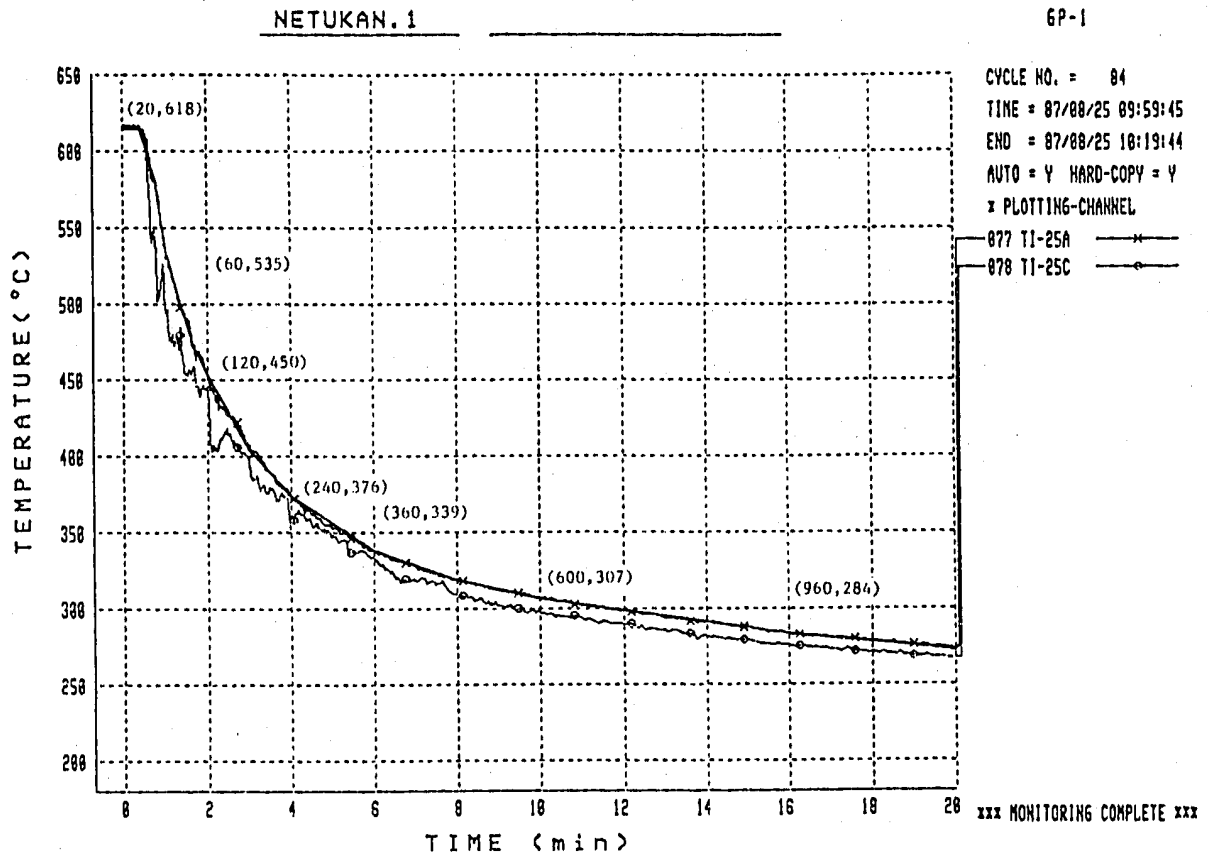


Fig. A.6.14 Thermal Transient Condition at TI-25A of Slitted Cylinder

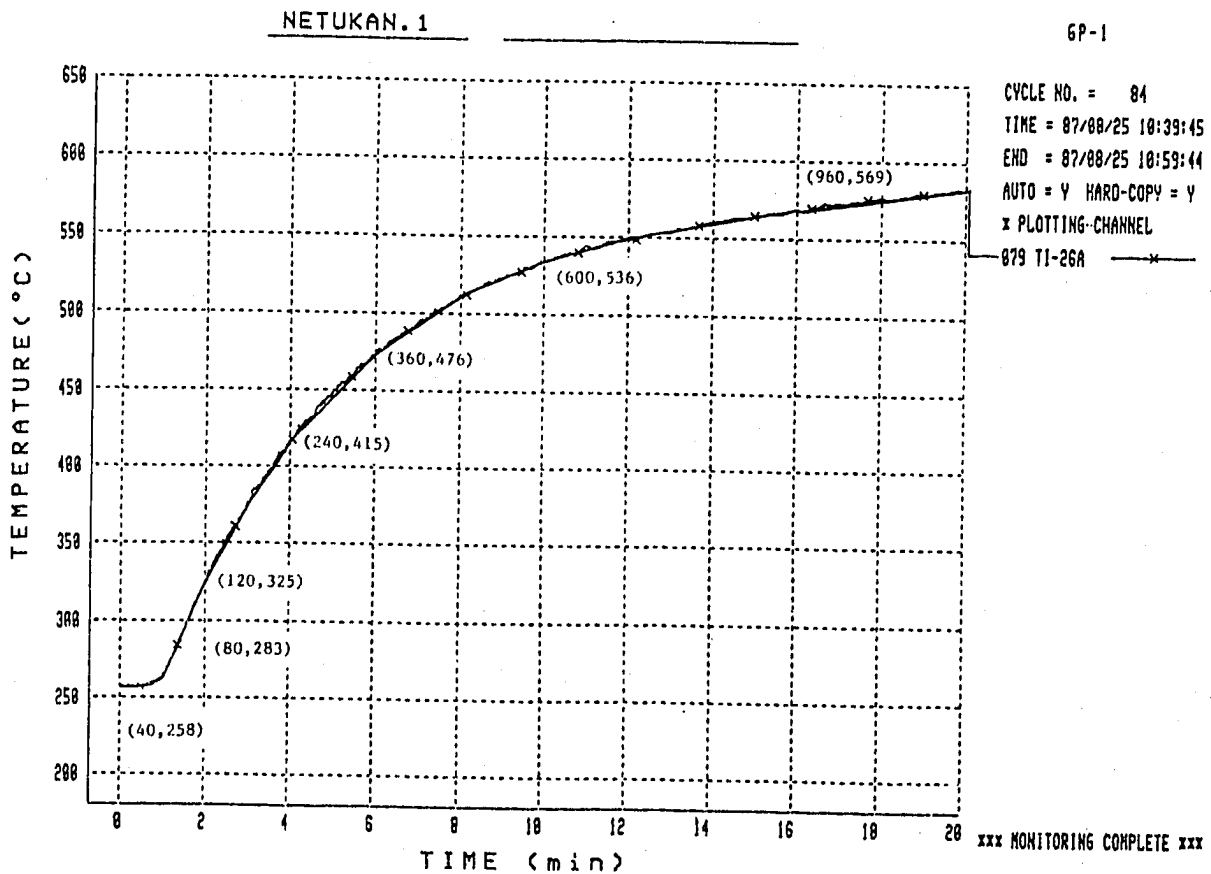
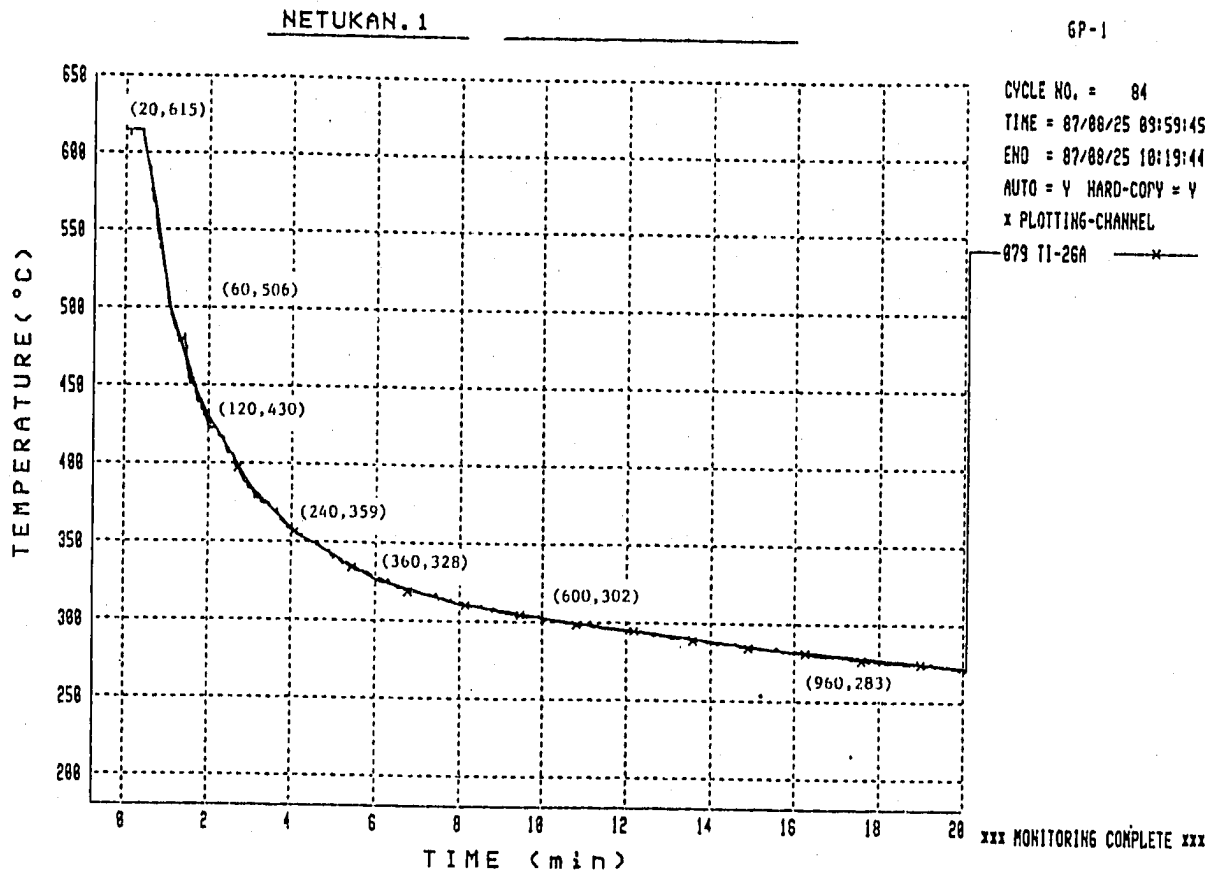


Fig. A.6.15 Thermal Transient Condition at TI-26A of Slitted Cylinder

付録B. 熱伝導解析結果

Fig. B. 2. 1 Comparison of Measured and Calculated Temperature at INO-41A

Fig. B. 2. 2 Comparison of Measured and Calculated Temperature at INO-42A

Fig. B. 2. 3 Comparison of Measured and Calculated Temperature at INO-43A

Fig. B. 2. 4 Comparison of Measured and Calculated Temperature at INO-44A

Fig. B. 2. 5 Comparison of Measured and Calculated Temperature at INO-45A

Fig. B. 3. 1 Comparison of Measured and Calculated Temperature at ONO-42A

Fig. B. 3. 2 Comparison of Measured and Calculated Temperature at ONO-43A

Fig. B. 3. 3 Comparison of Measured and Calculated Temperature at ONO-45A

Fig. B. 4. 1 Comparison of Measured and Calculated Temperature at SKO-41A

Fig. B. 4. 2 Comparison of Measured and Calculated Temperature at SKO-42A

Fig. B. 4. 3 Comparison of Measured and Calculated Temperature at SKO-51A

Fig. B. 4. 4 Comparison of Measured and Calculated Temperature at SKO-52A

Fig. B. 4. 5 Comparison of Measured and Calculated Temperature at TIO-45A

Fig. B. 4. 6 Comparison of Measured and Calculated Temperature
at SKO-43A, SKO-44A, SKO-45A, SKO-46A

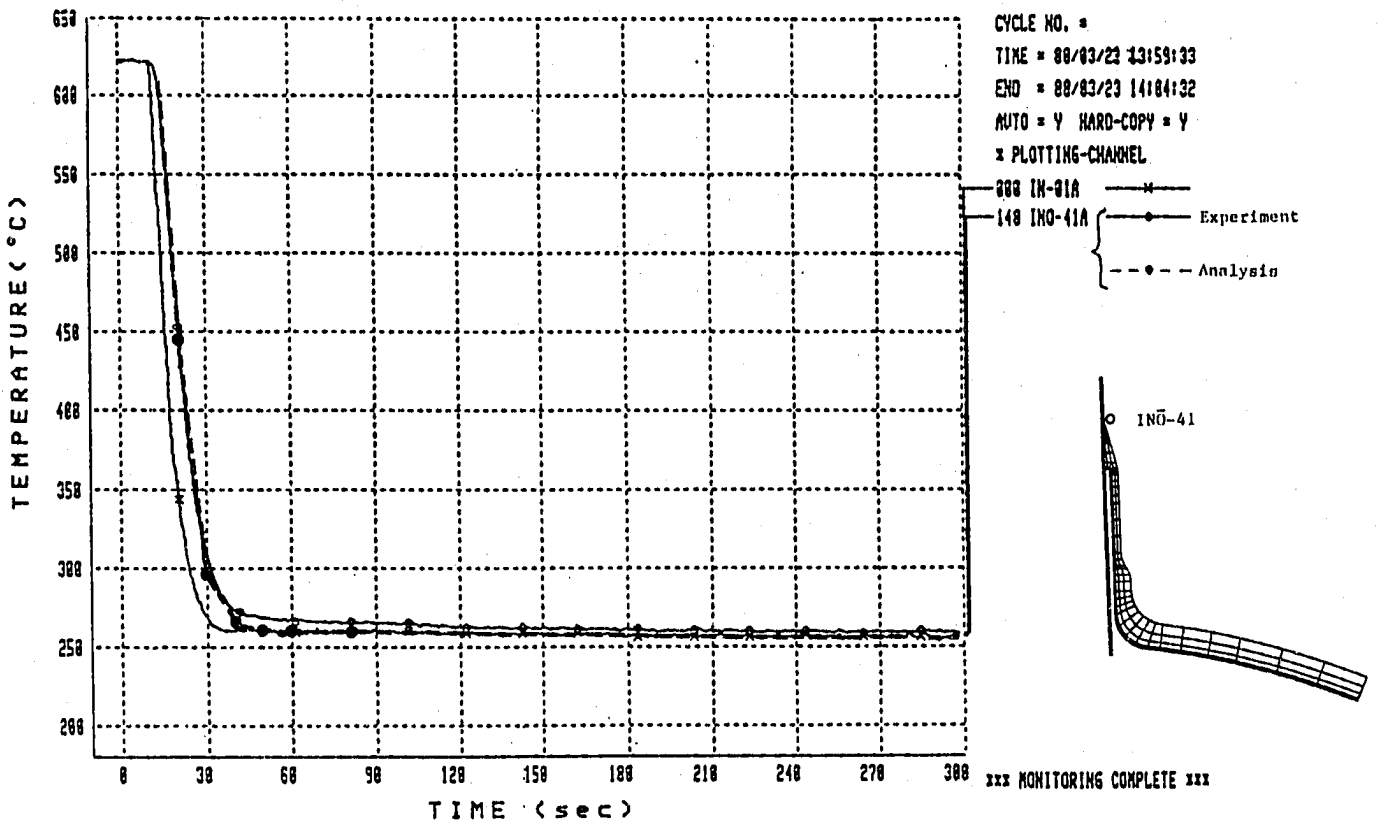
Fig. B. 5. 1 Comparison of Measured and Calculated Temperature at IC-63A

Fig. B. 5. 2 Comparison of Measured and Calculated Temperature at IC-64A

Fig. B. 5. 3 Comparison of Measured and Calculated Temperature at IC-65A

Fig. B. 5. 4 Comparison of Measured and Calculated Temperature at IC-66A

NETSUKAN.1(2)



NETSUKAN.1(2)

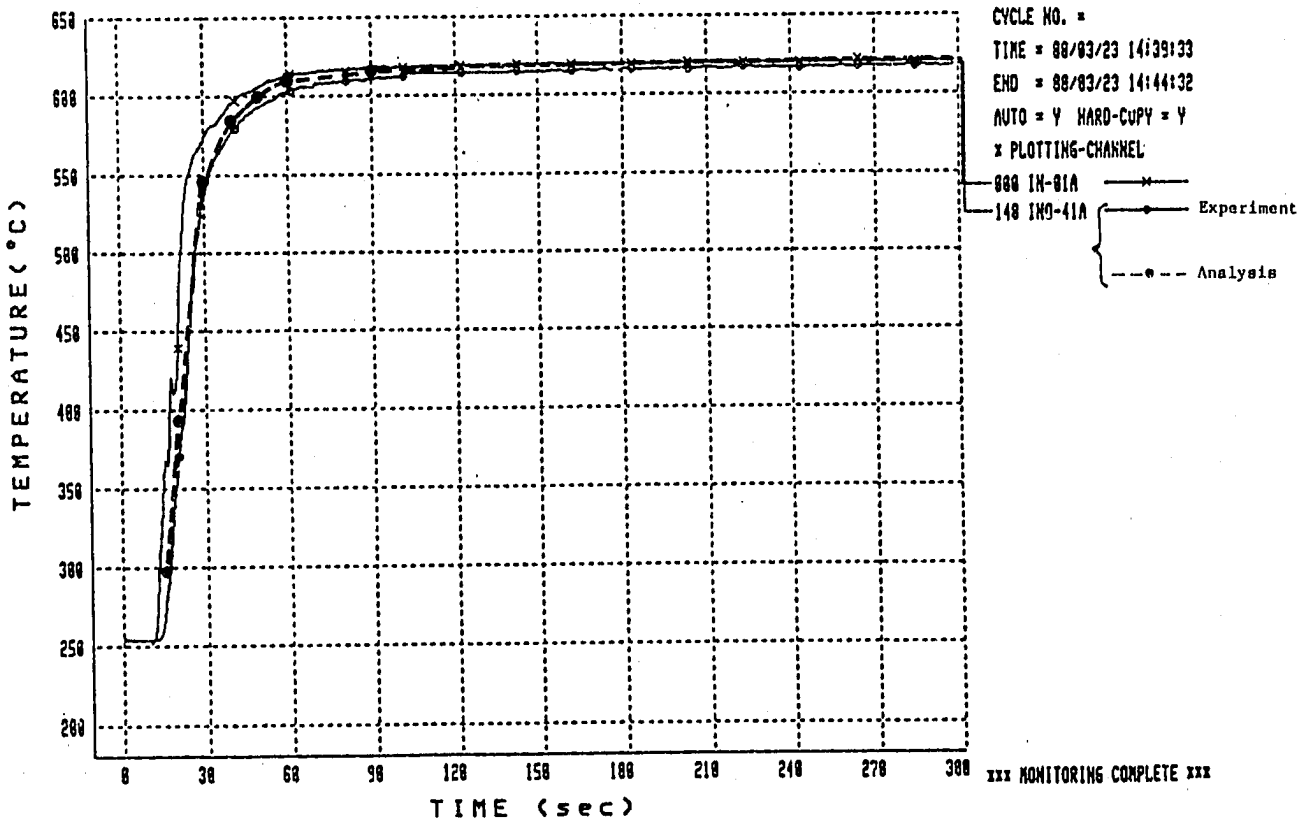
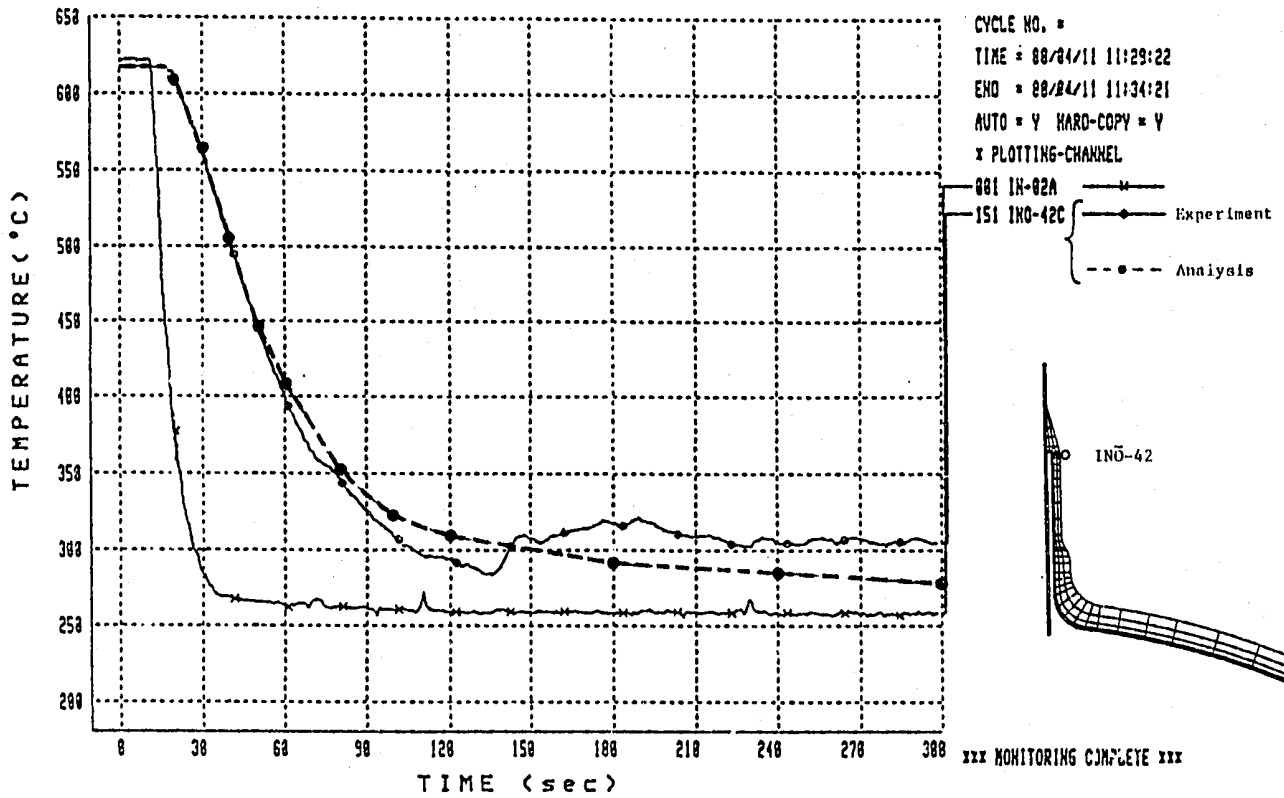


Fig. B.2.1 Comparison of Measured and Calculated Temperature at INO-41A

NETSUKAN.1(2)



NETSUKAN.1(2)

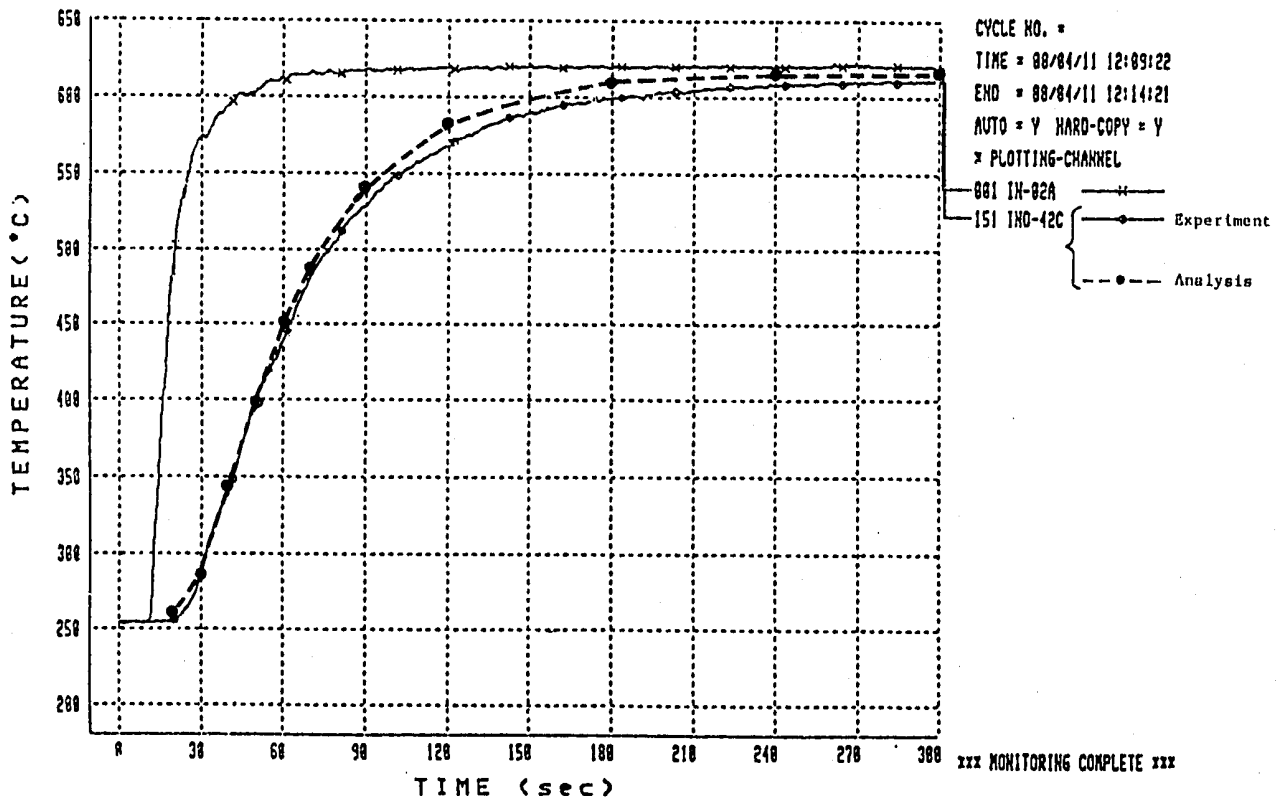
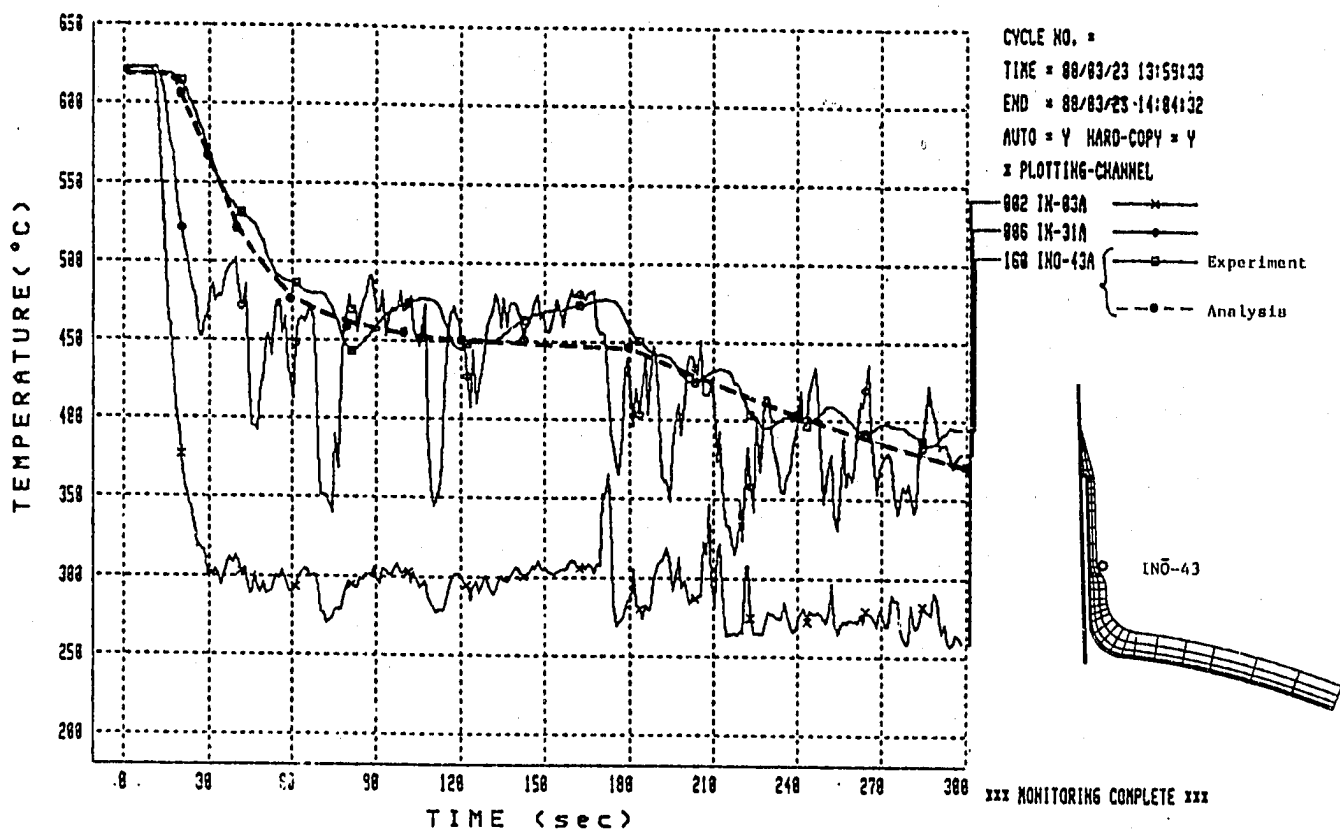


Fig. B.2.2 Comparison of Measured and Calculated Temperature at INO-42A

NETSUKAN.1(2)



NETSUKAN.1(2)

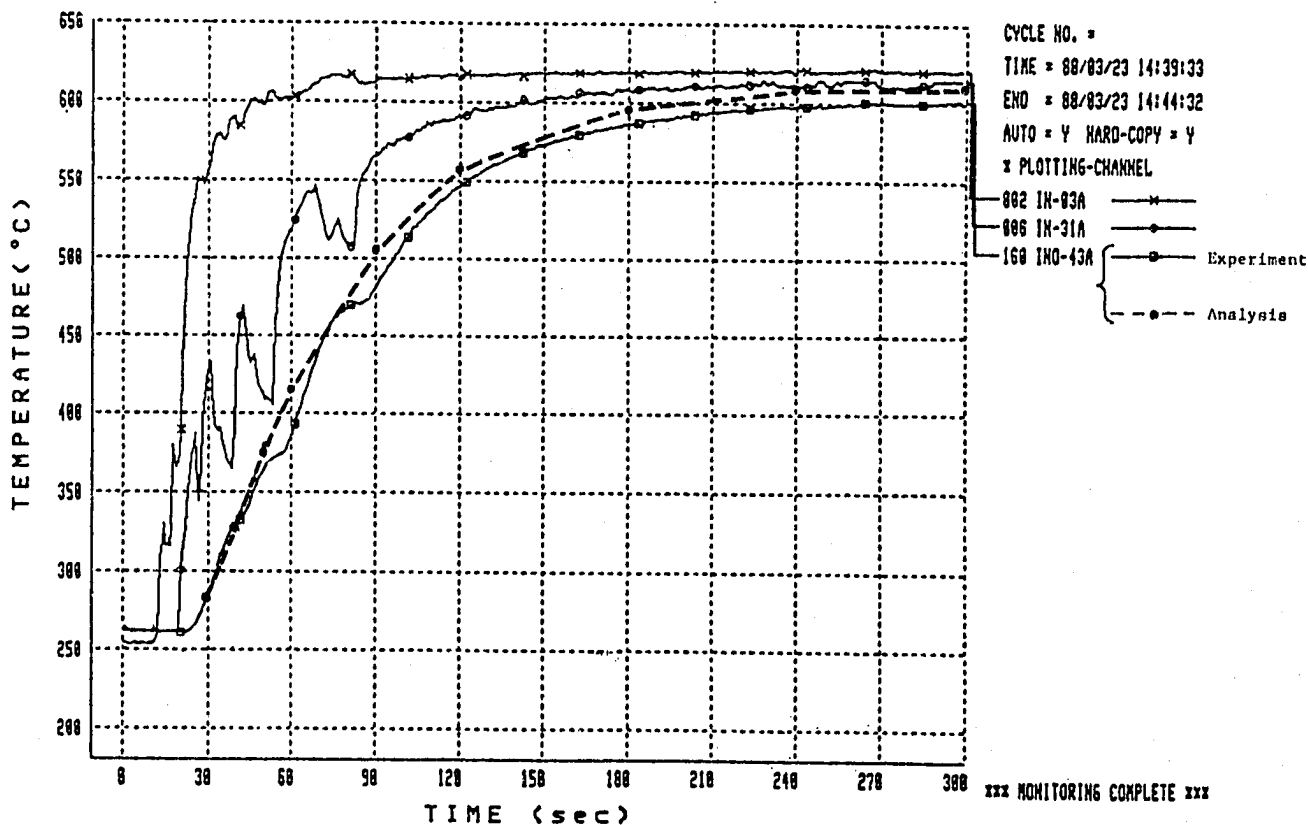


Fig. B.2.3 Comparison of Measured and Calculated Temperature at INO-43A

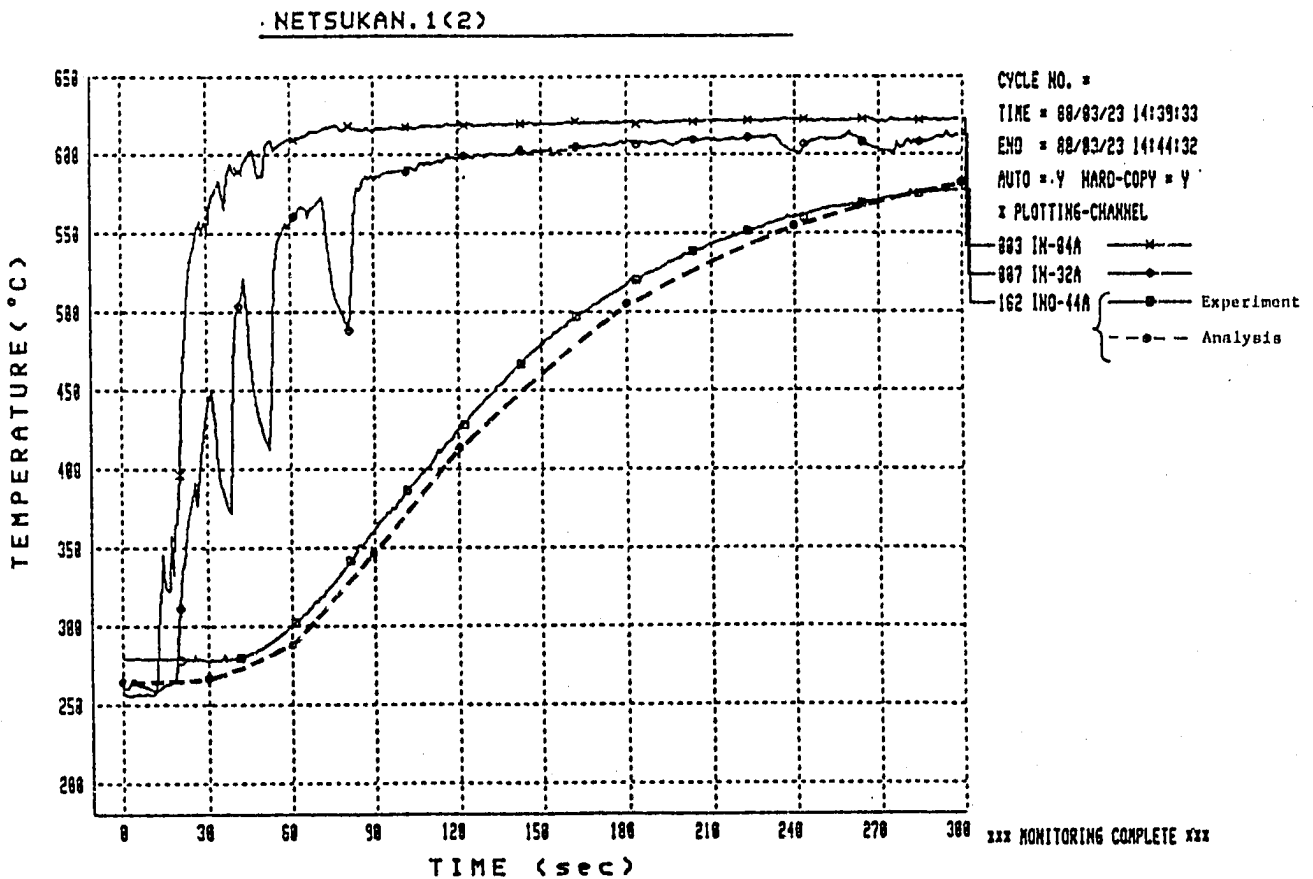
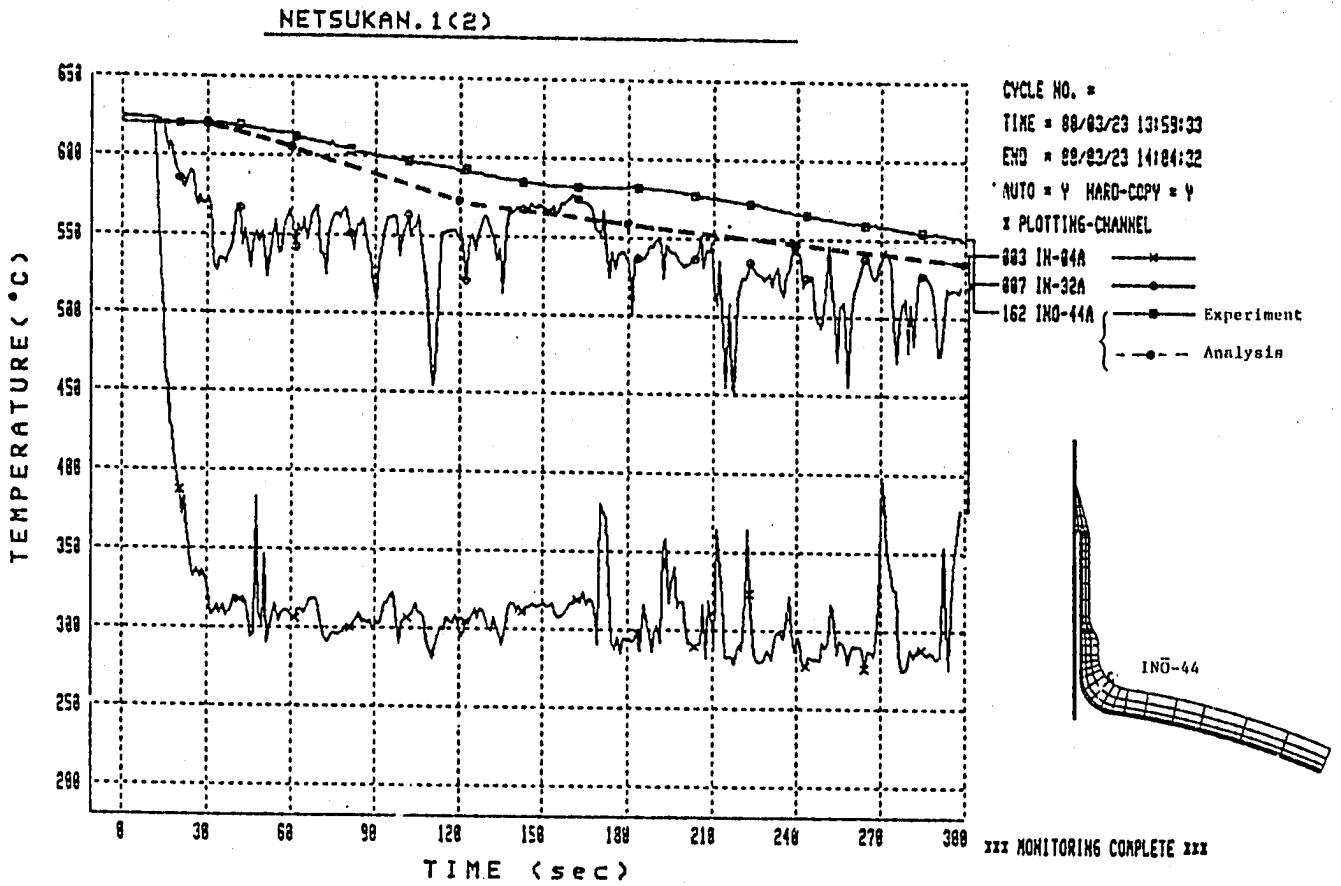
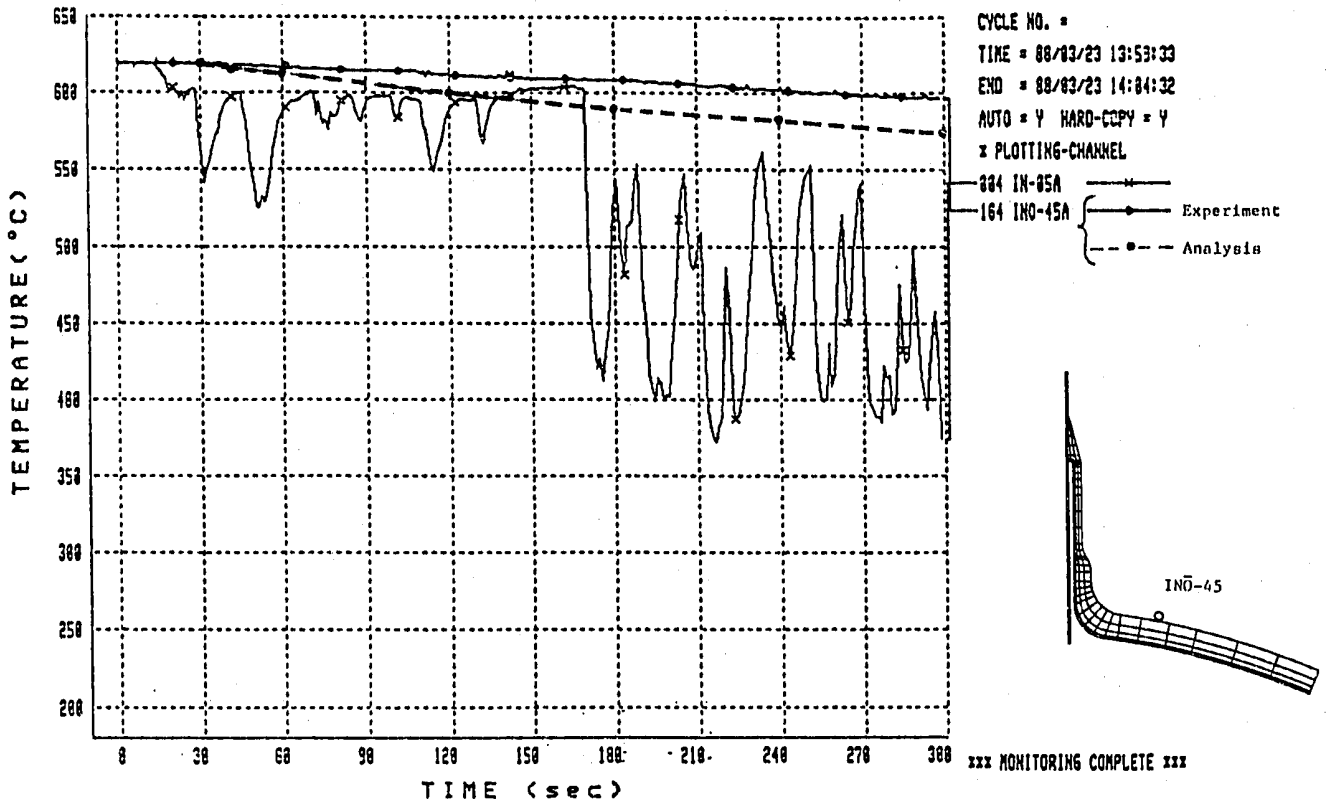


Fig. B.2.4 Comparison of Measured and Calculated Temperature at INO-44A

NETSUKAN. 1(2)



NETSUKAN. 1(2)

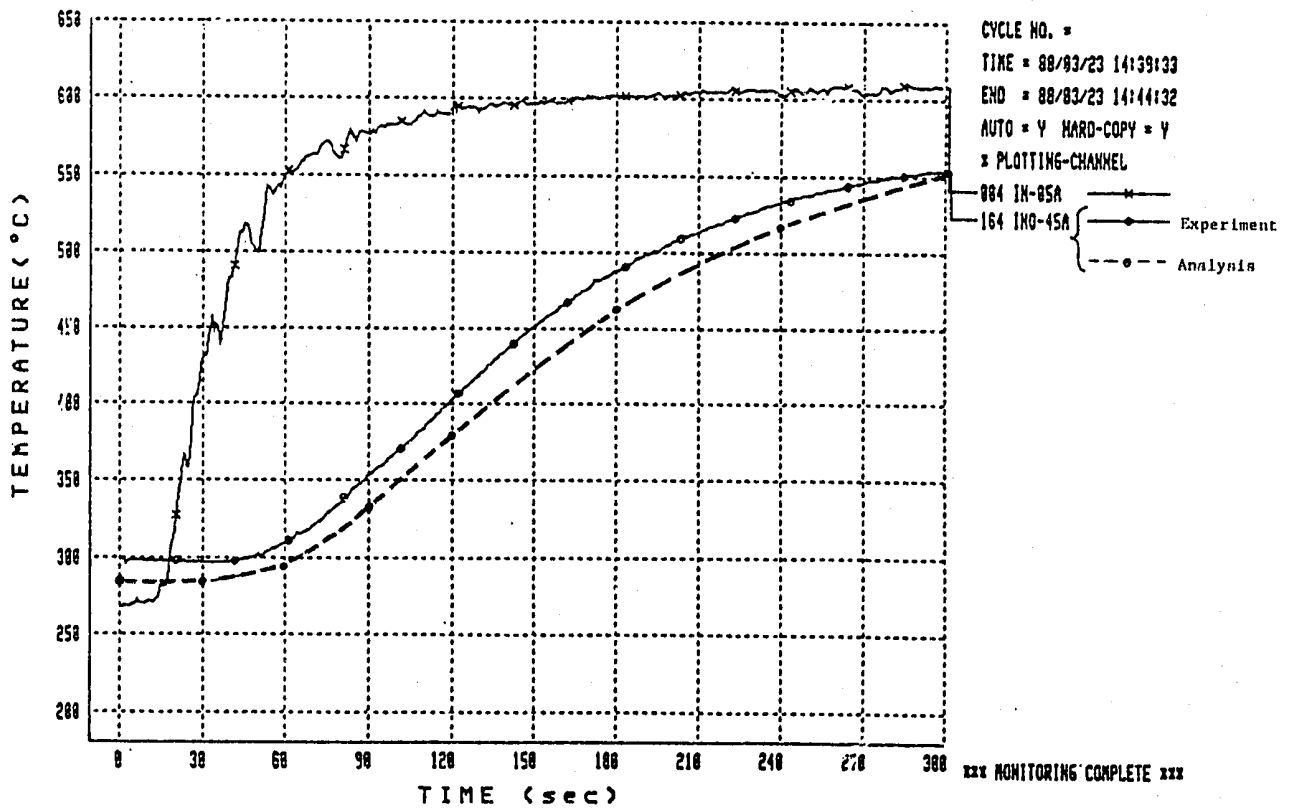


Fig. B.2.5 Comparison of Measured and Calculated Temperature at INO-45A

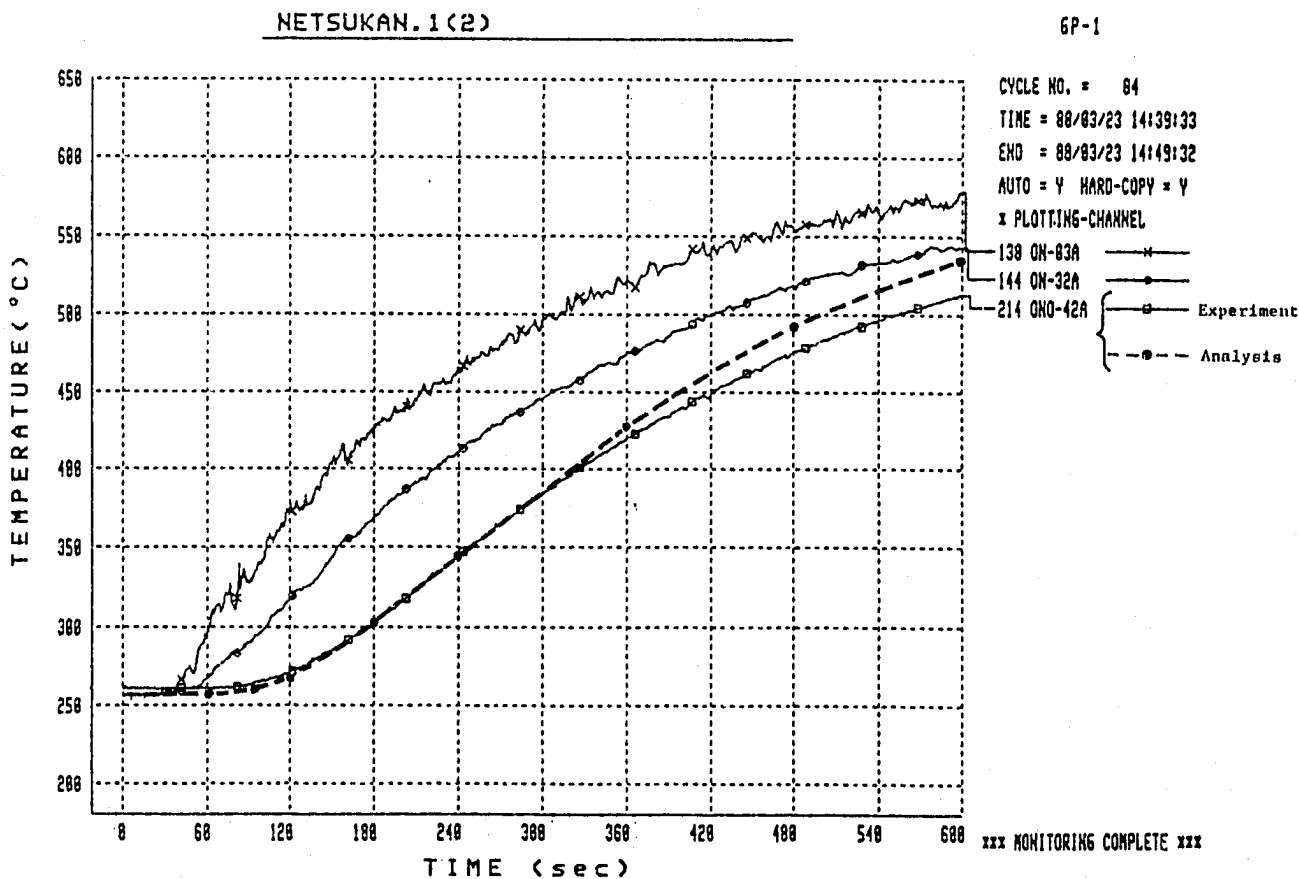
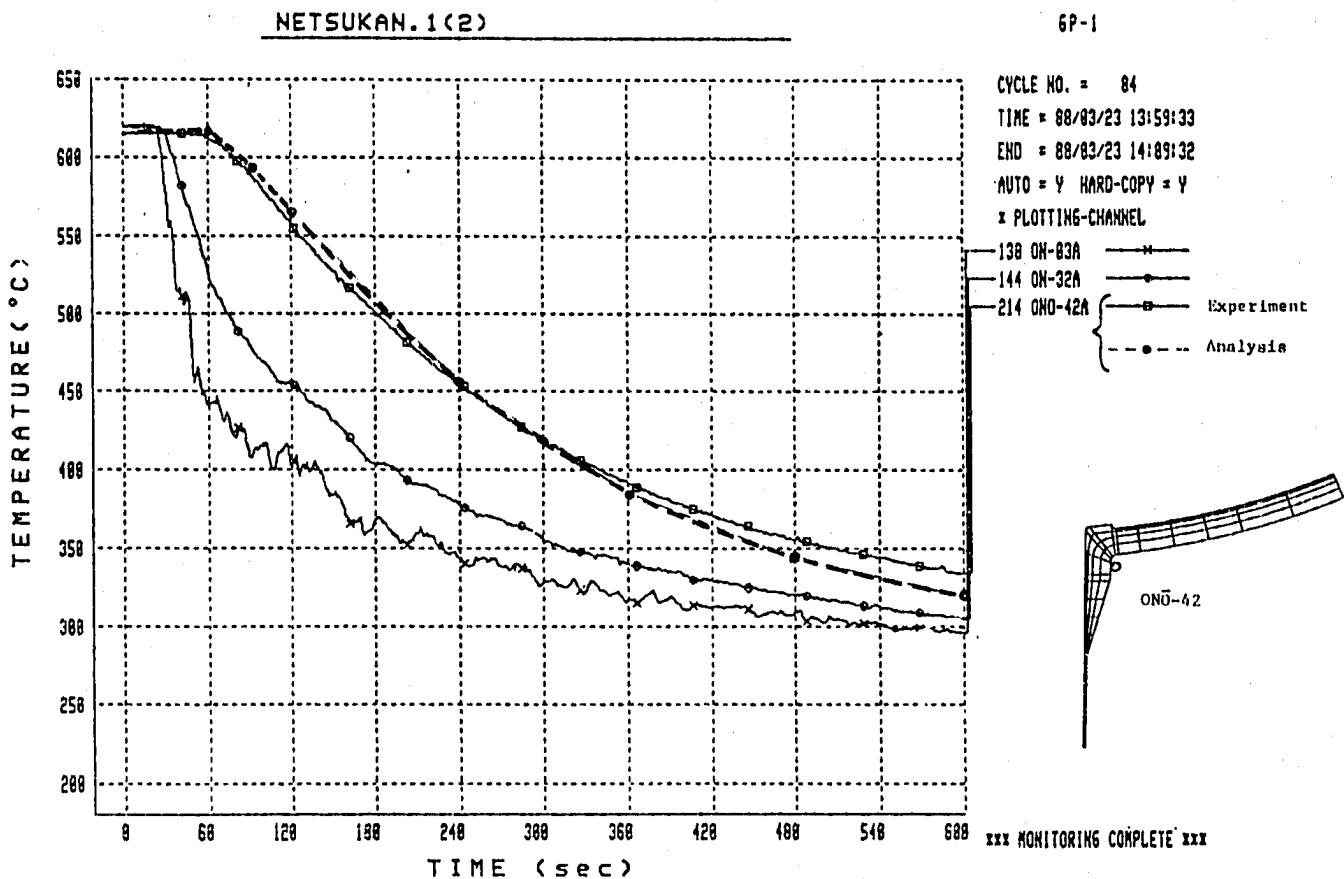


Fig. B.3.1 Comparison of Measured and Calculated Temperature at ONO-42A

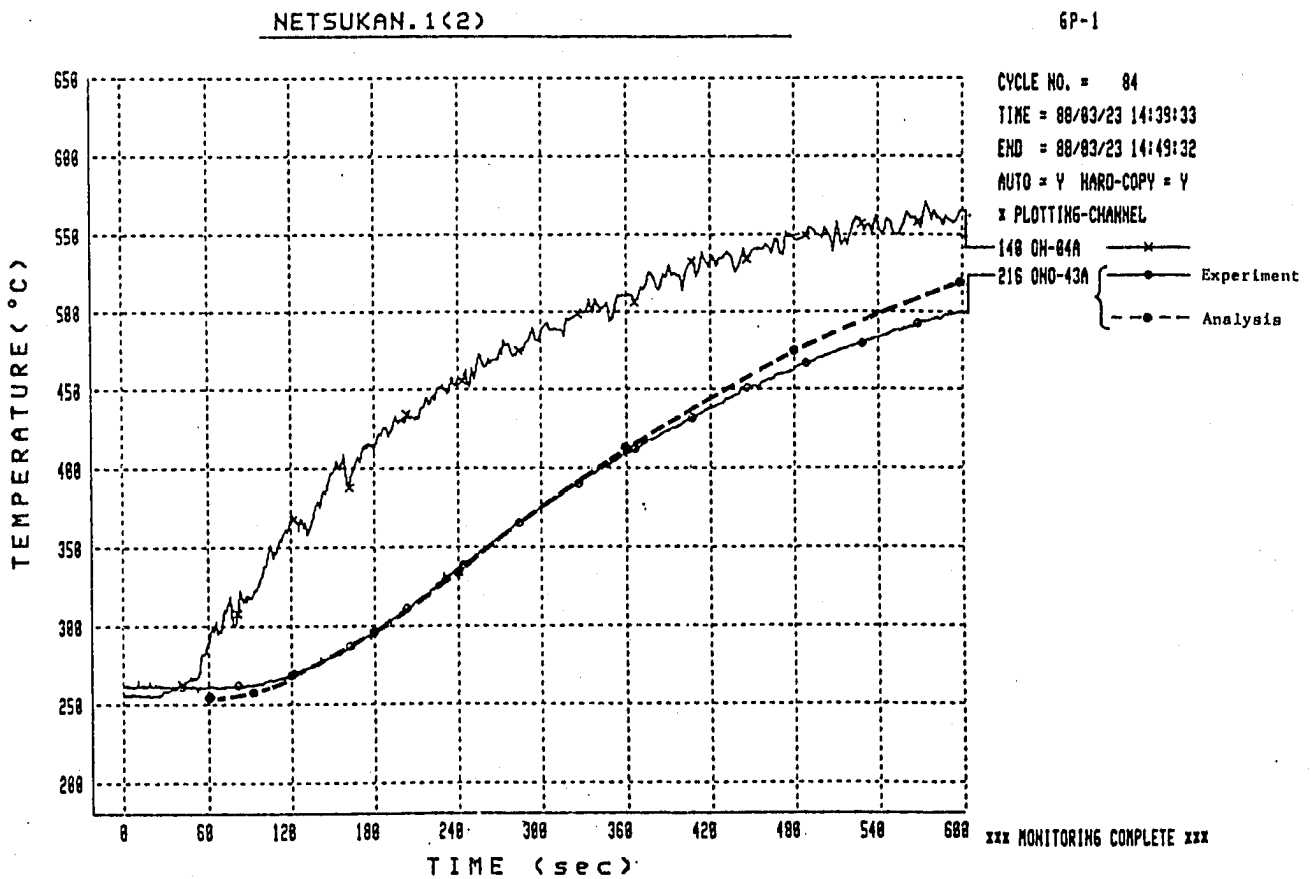
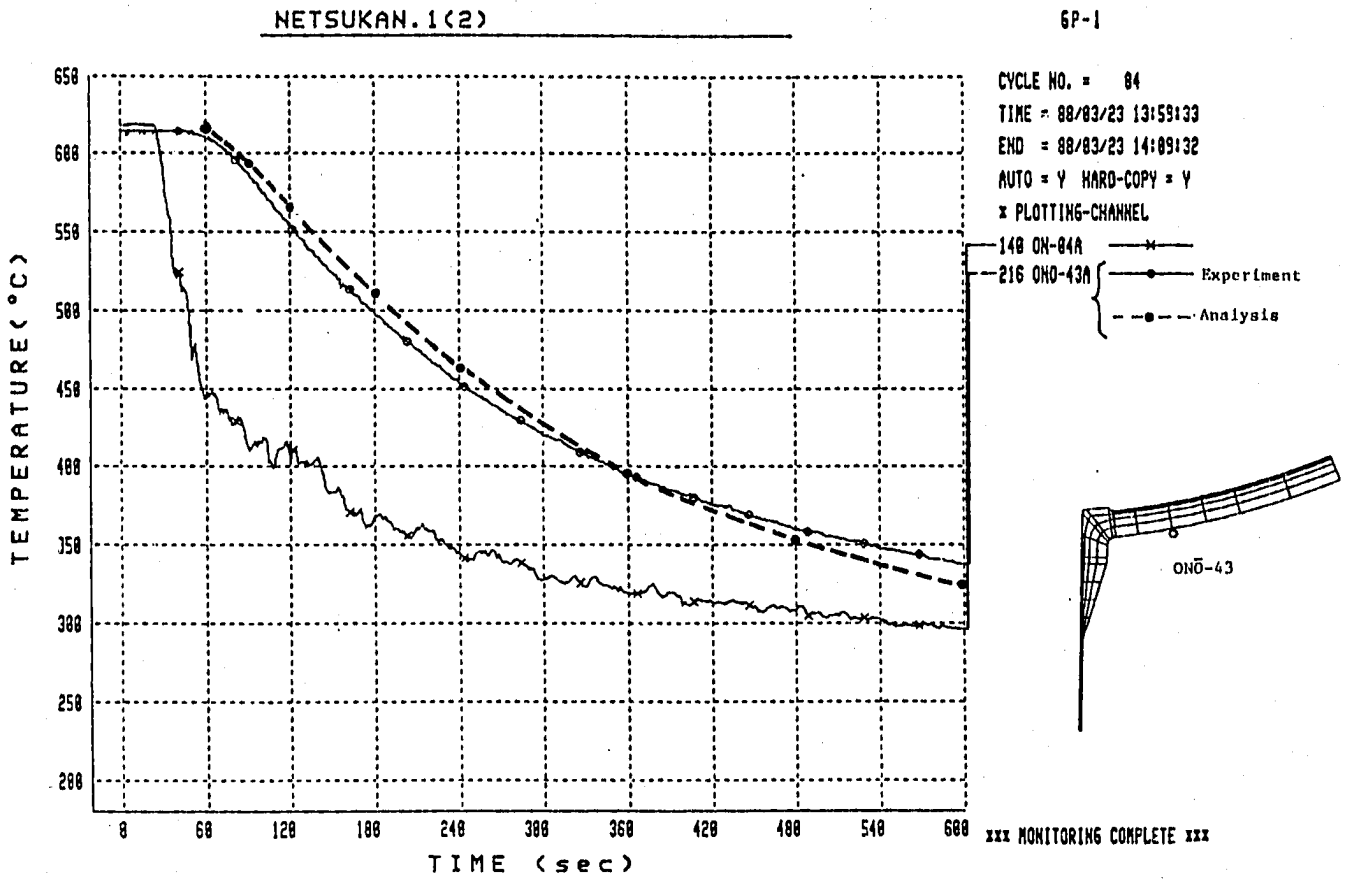


Fig. B.3.2 Comparison of Measured and Calculated Temperature at ONO-43A

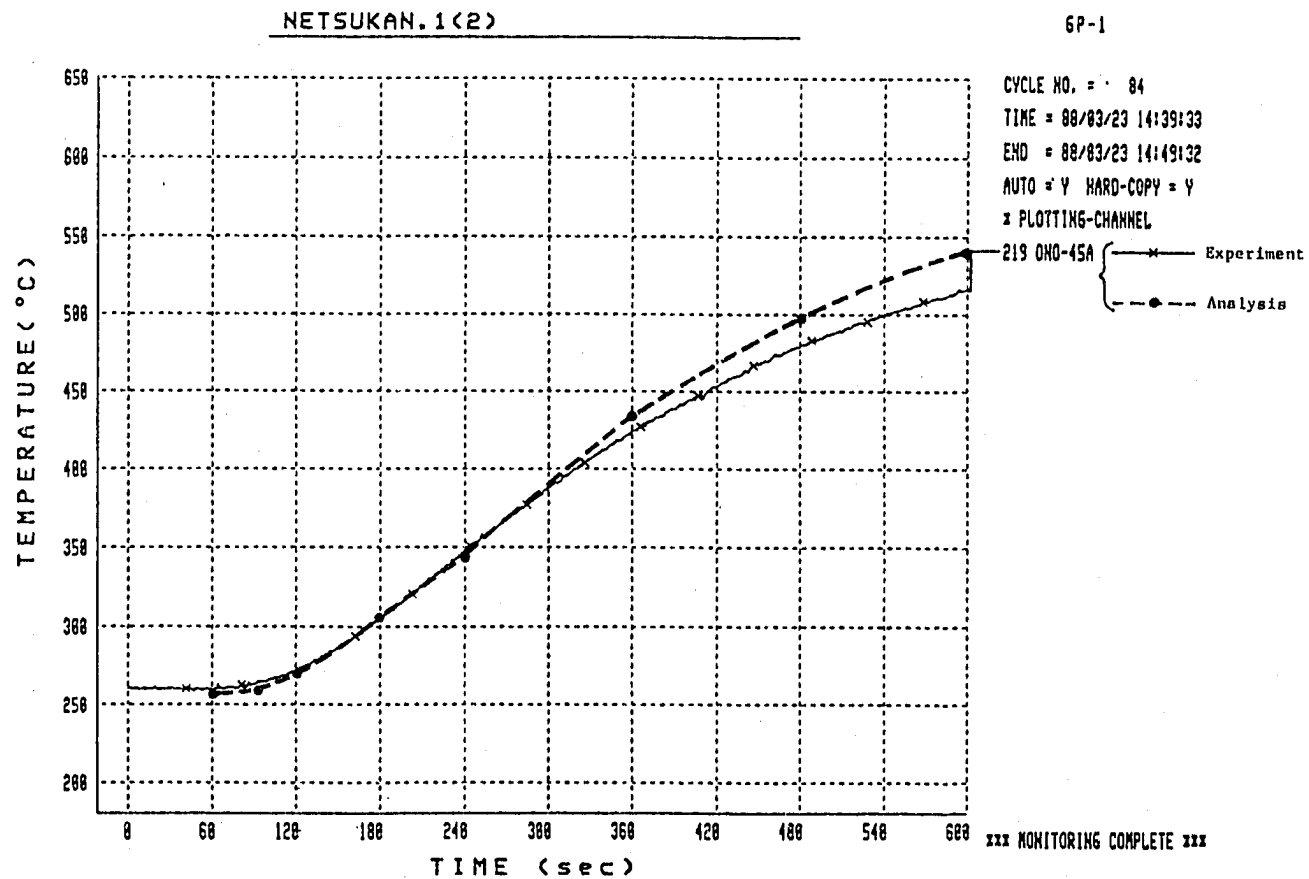
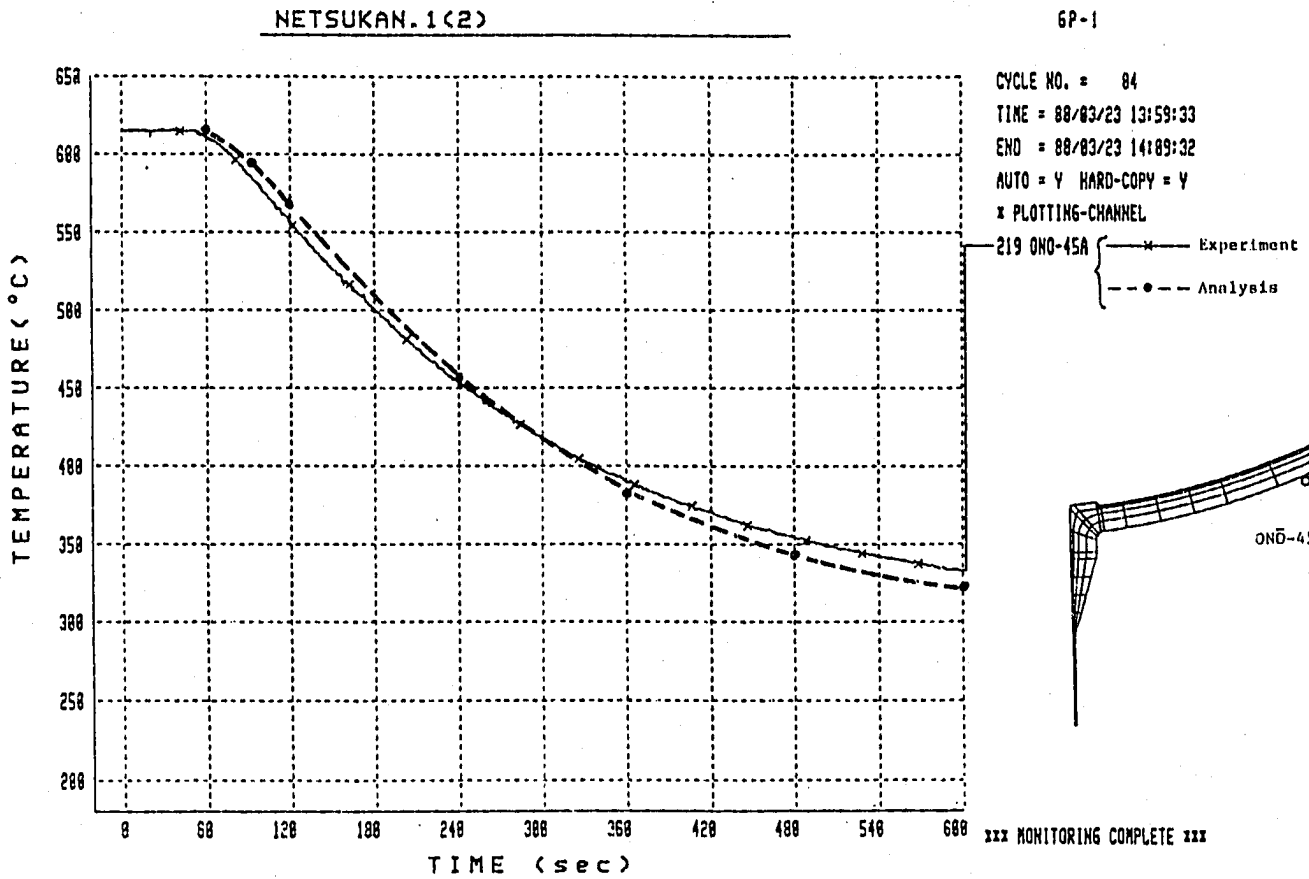


Fig. B.3.3 Comparison of Measured and Calculated Temperature at ONO-45A

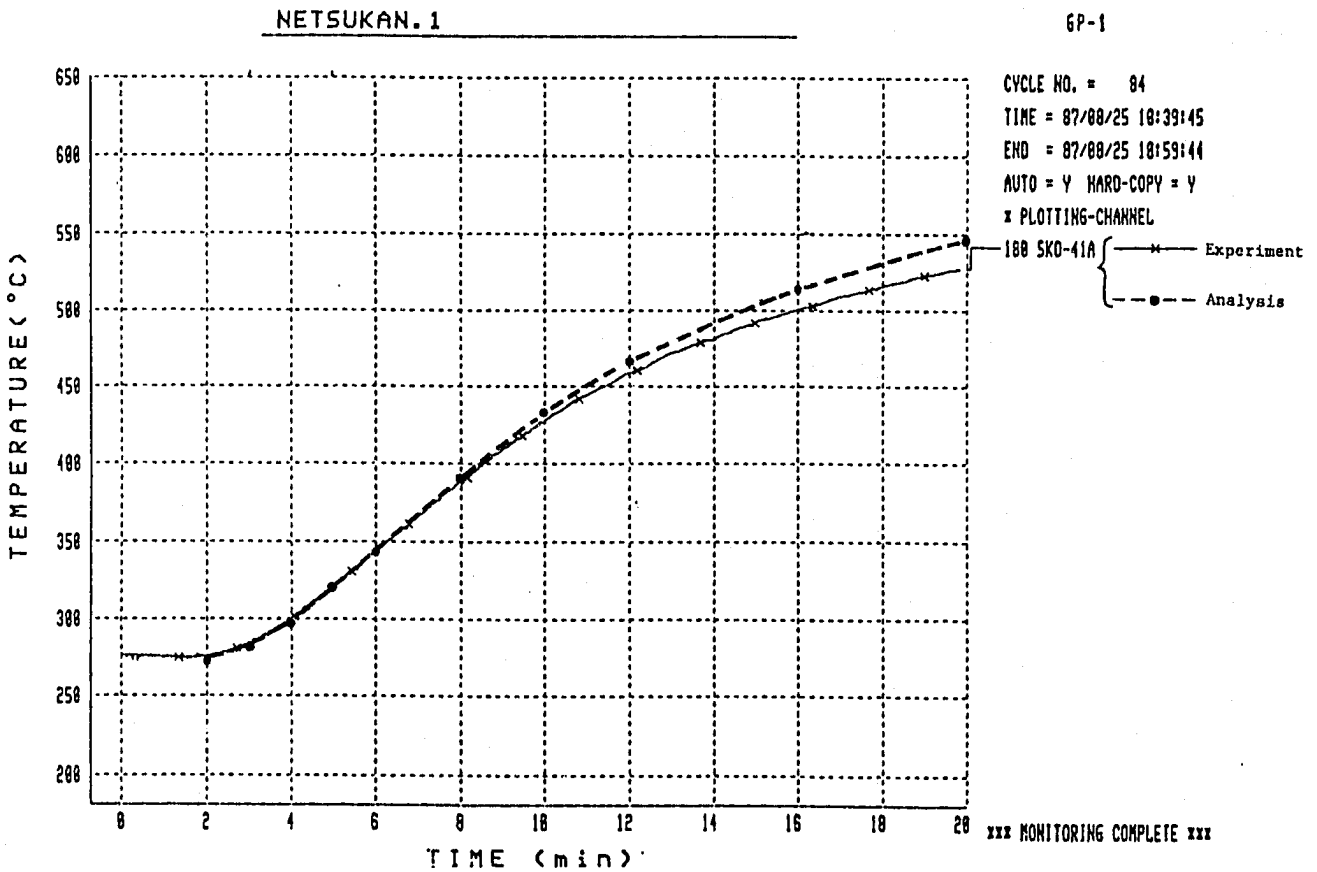
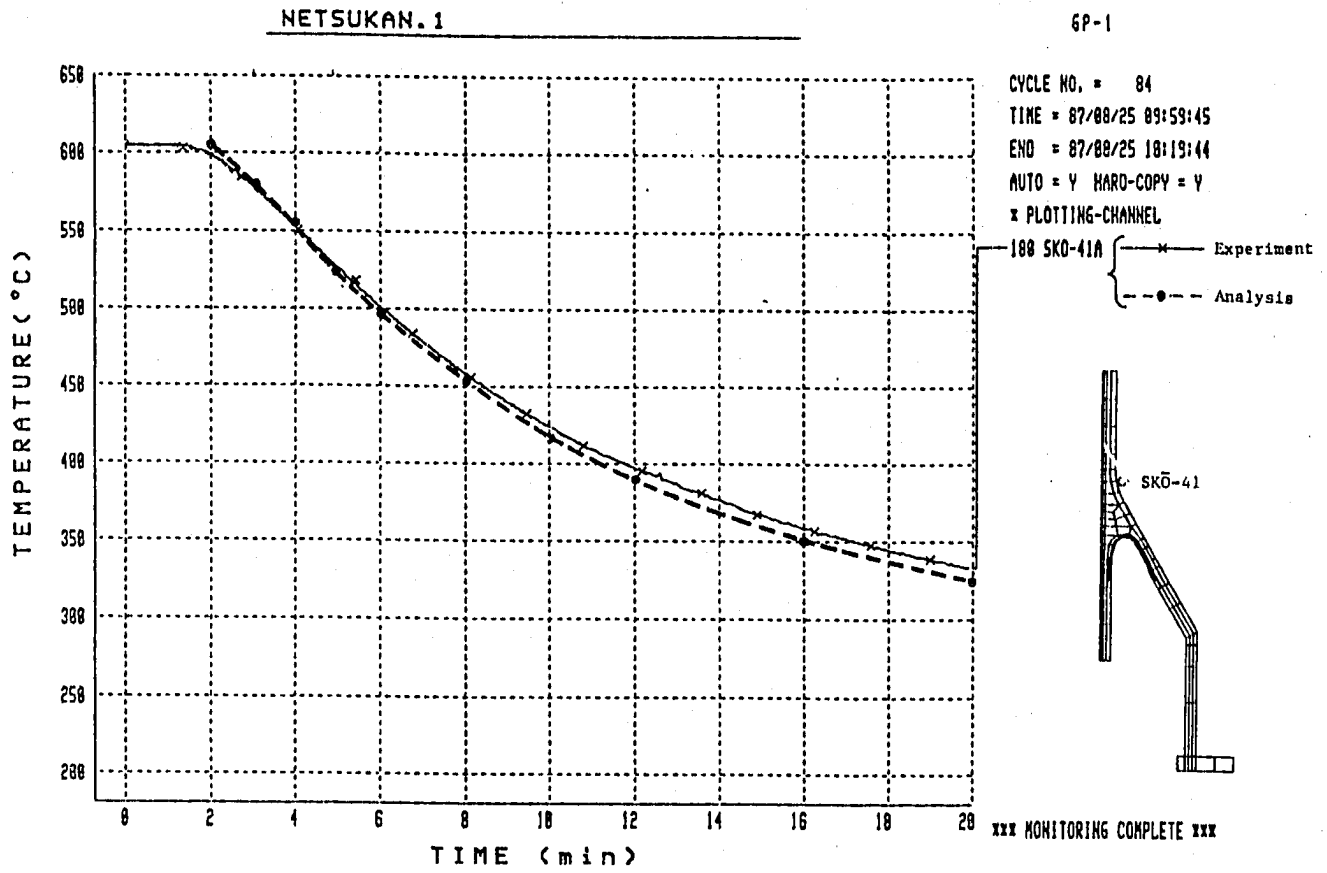


Fig. B.4.1 Comparison of Measured and Calculated Temperature at SKO-41A

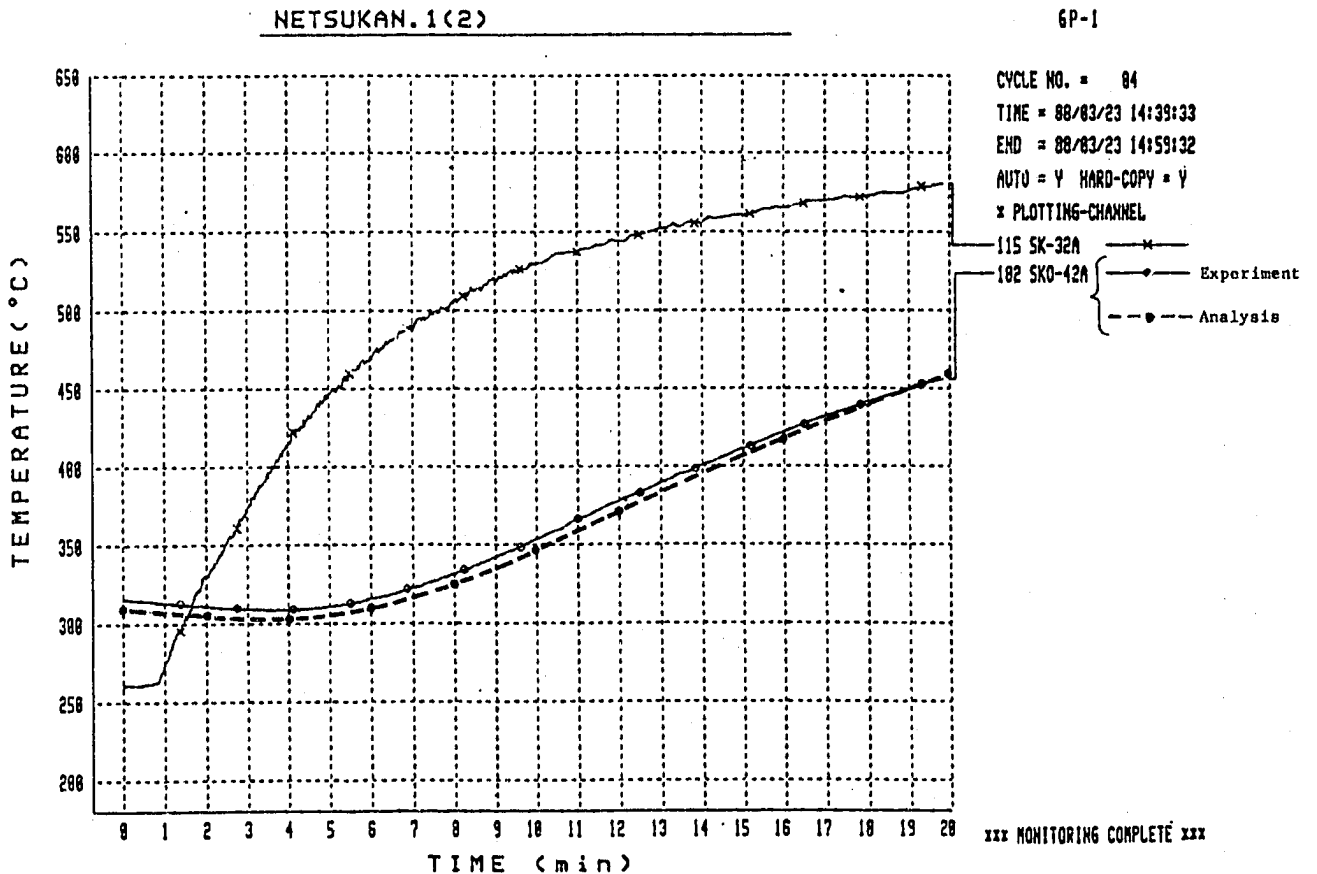
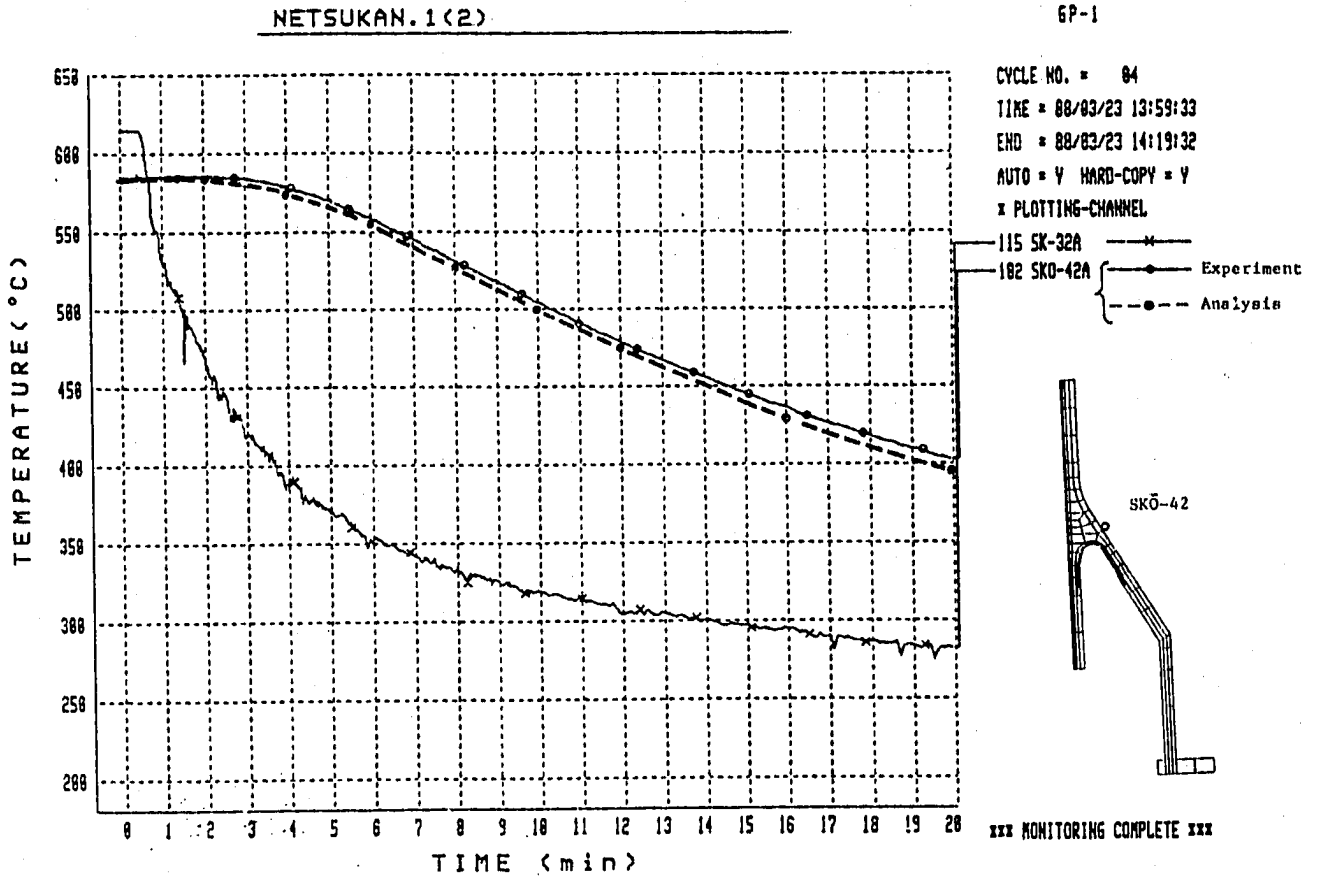


Fig. B.4.2 Comparison of Measured and Calculated Temperature at SKO-42A

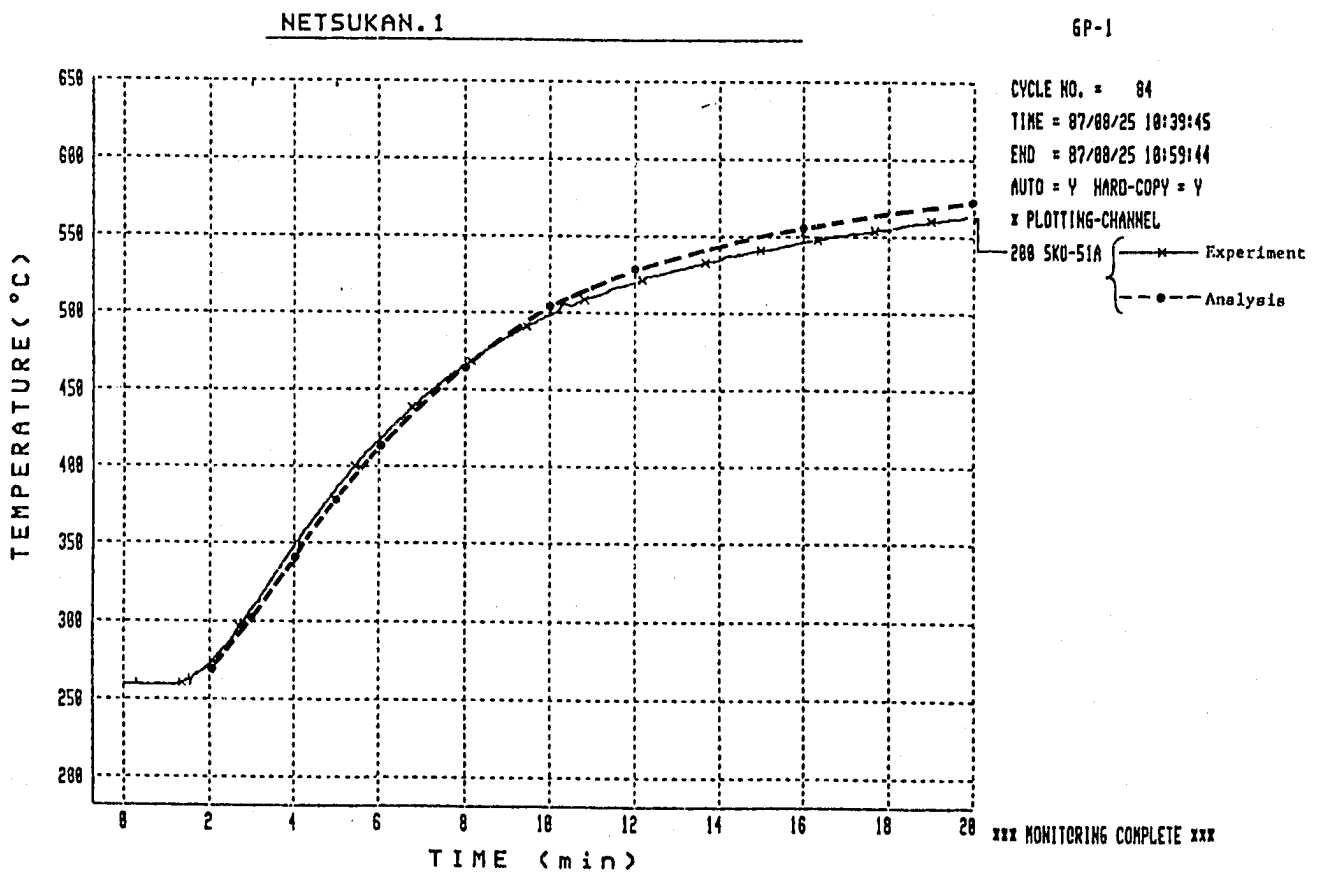
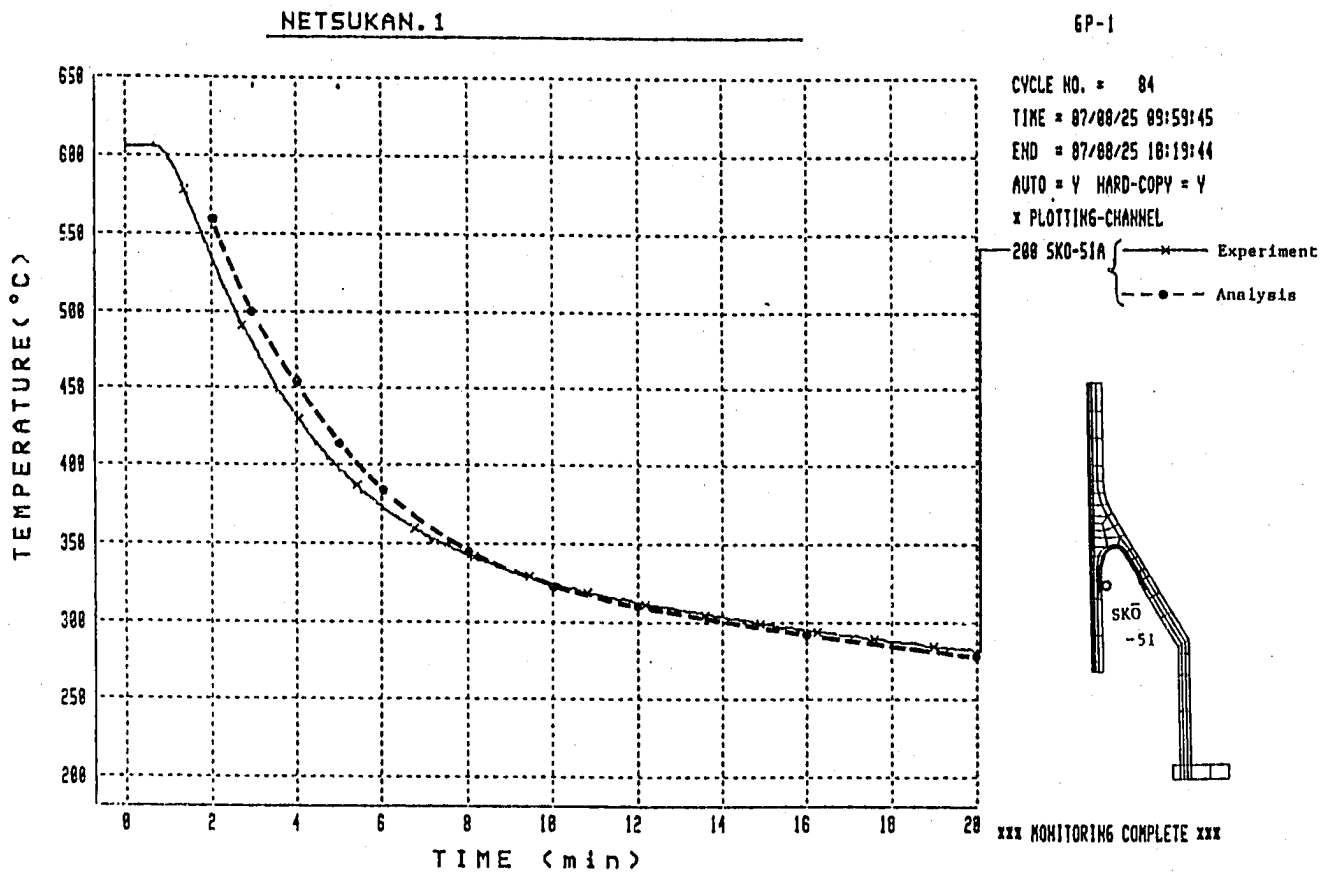


Fig. B.4.3 Comparison of Measured and Calculated Temperature at SK0-51A

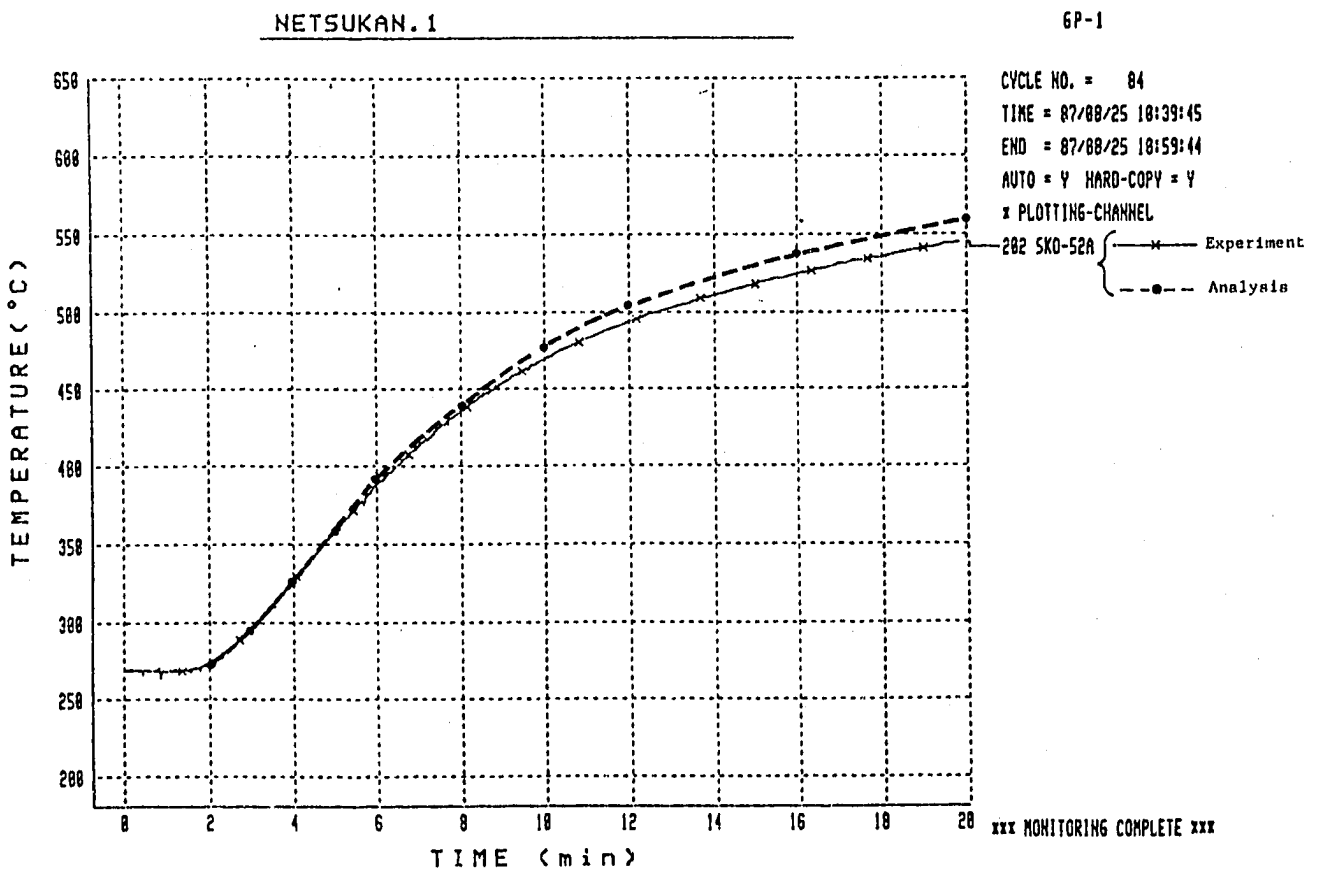
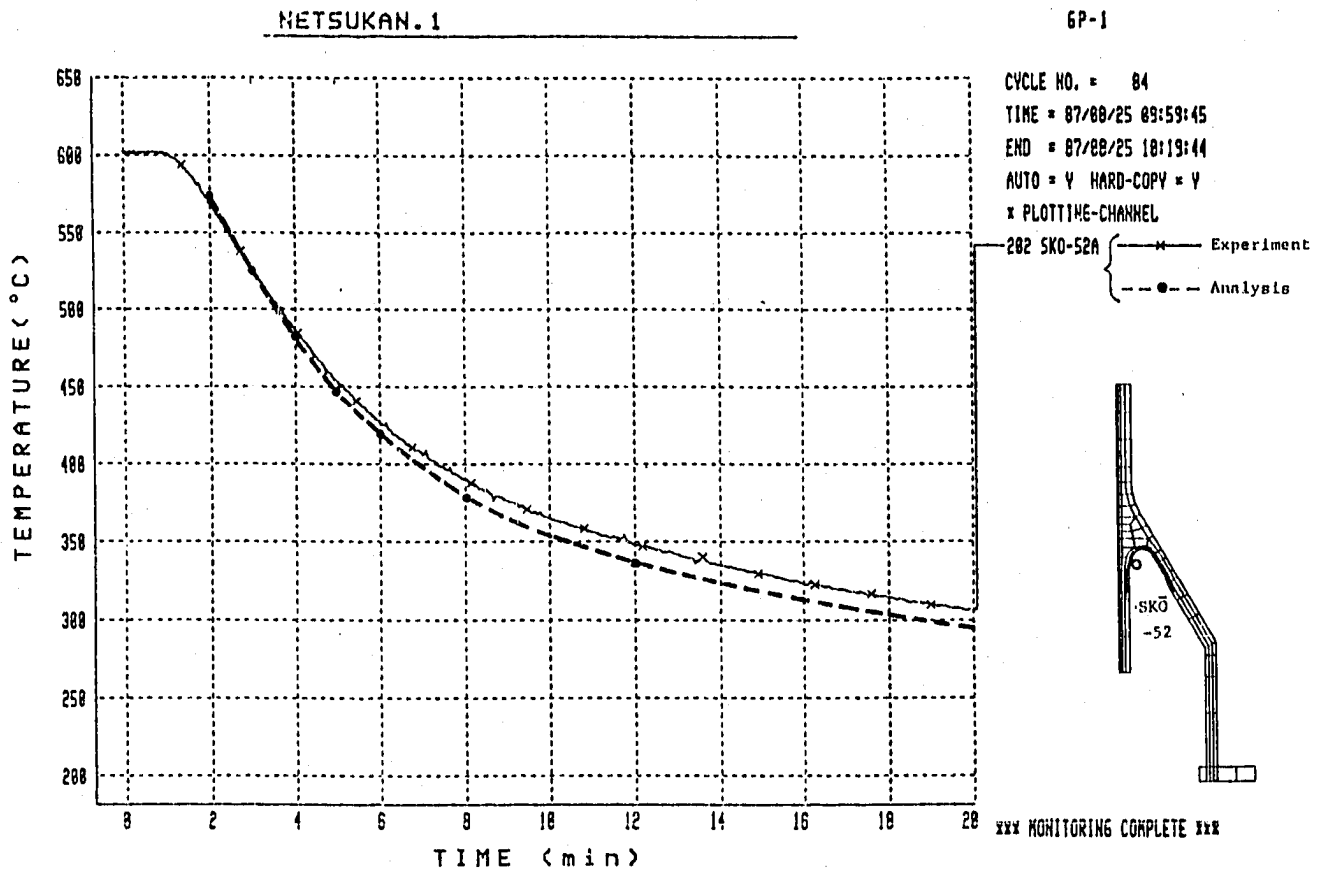


Fig. B.4.4 Comparison of Measured and Calculated Temperature at SKO-52A

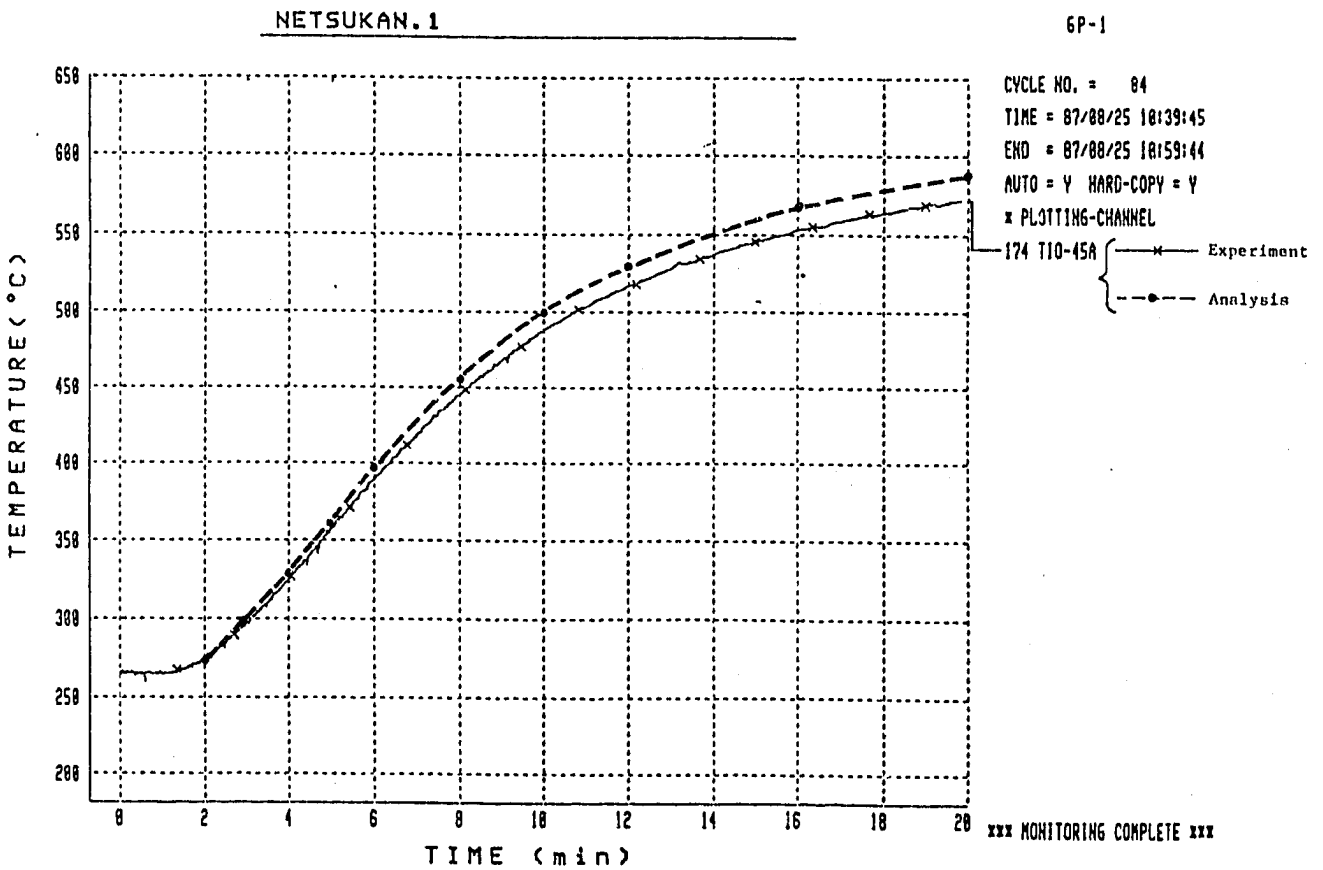
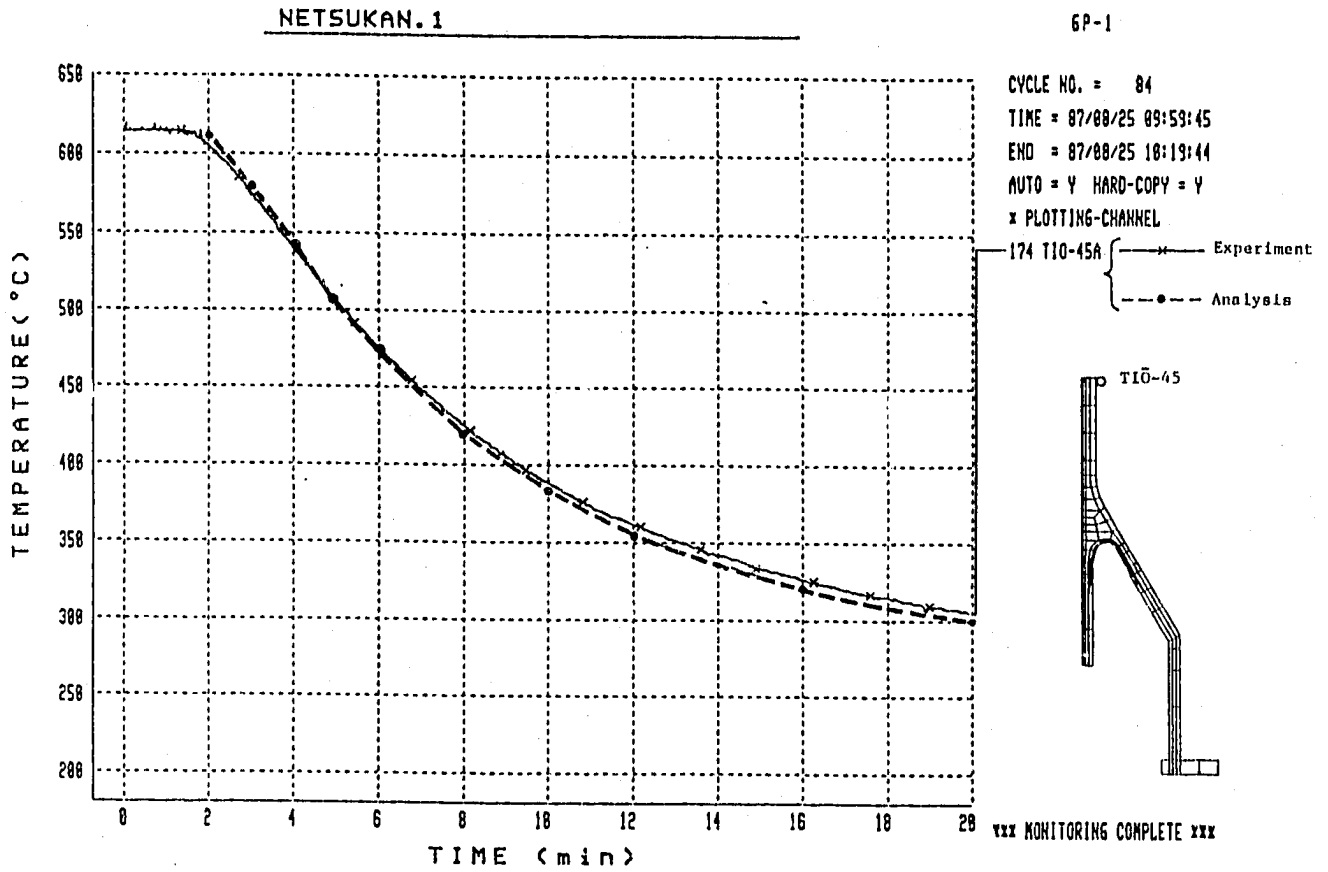


Fig. B.4.5 Comparison of Measured and Calculated Temperature at T10-45A

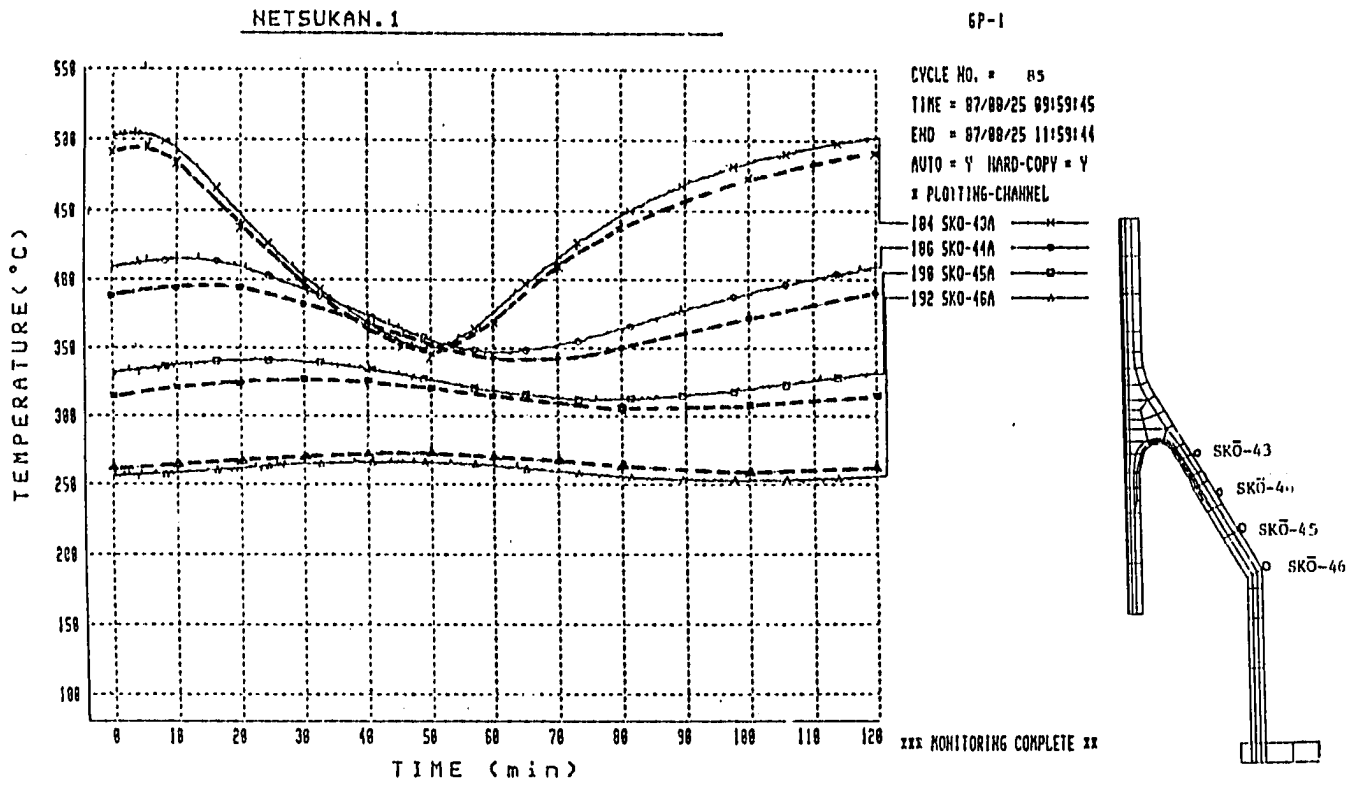


Fig. B.4.6 Comparison of Measured and Calculated Temperature at SKO-43A, SKO-44A, SKO-45A, SKO-46A

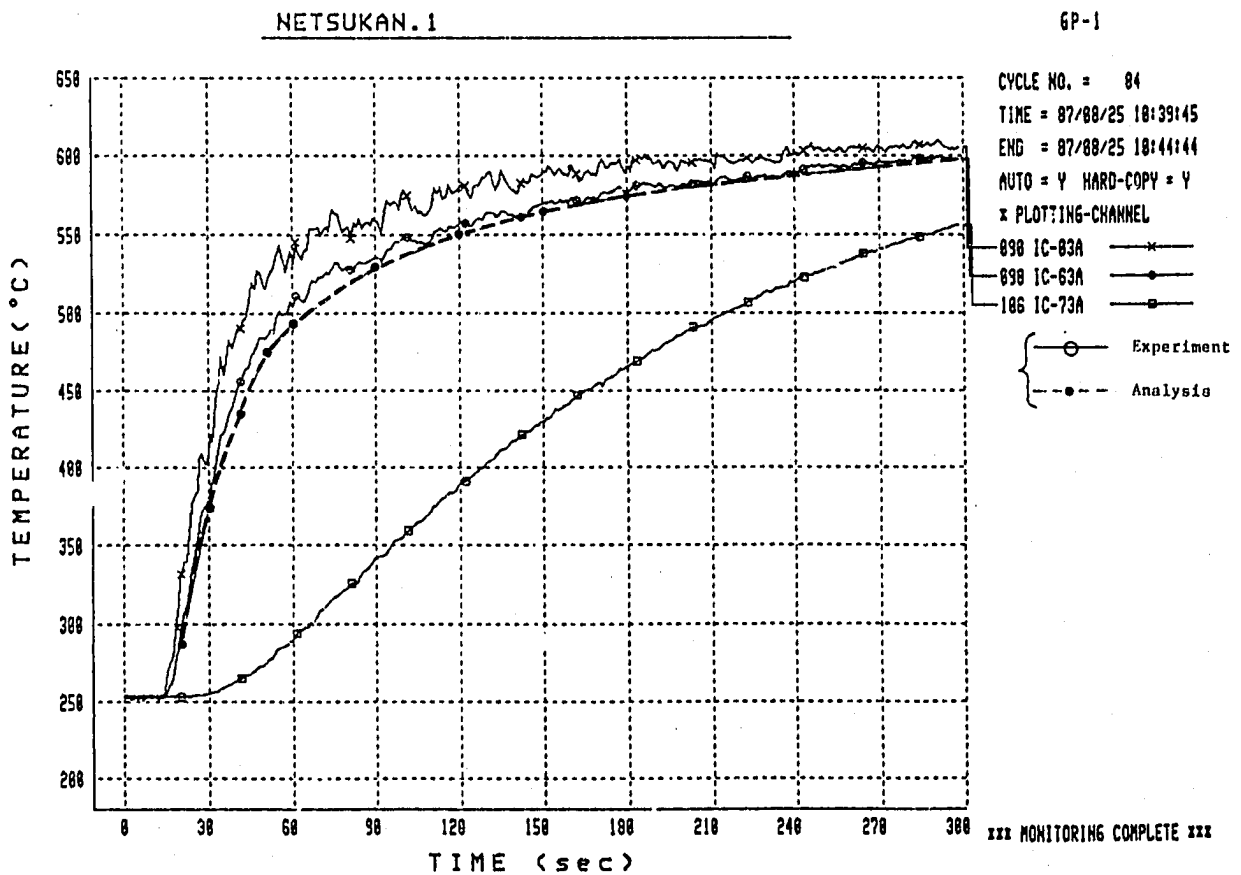
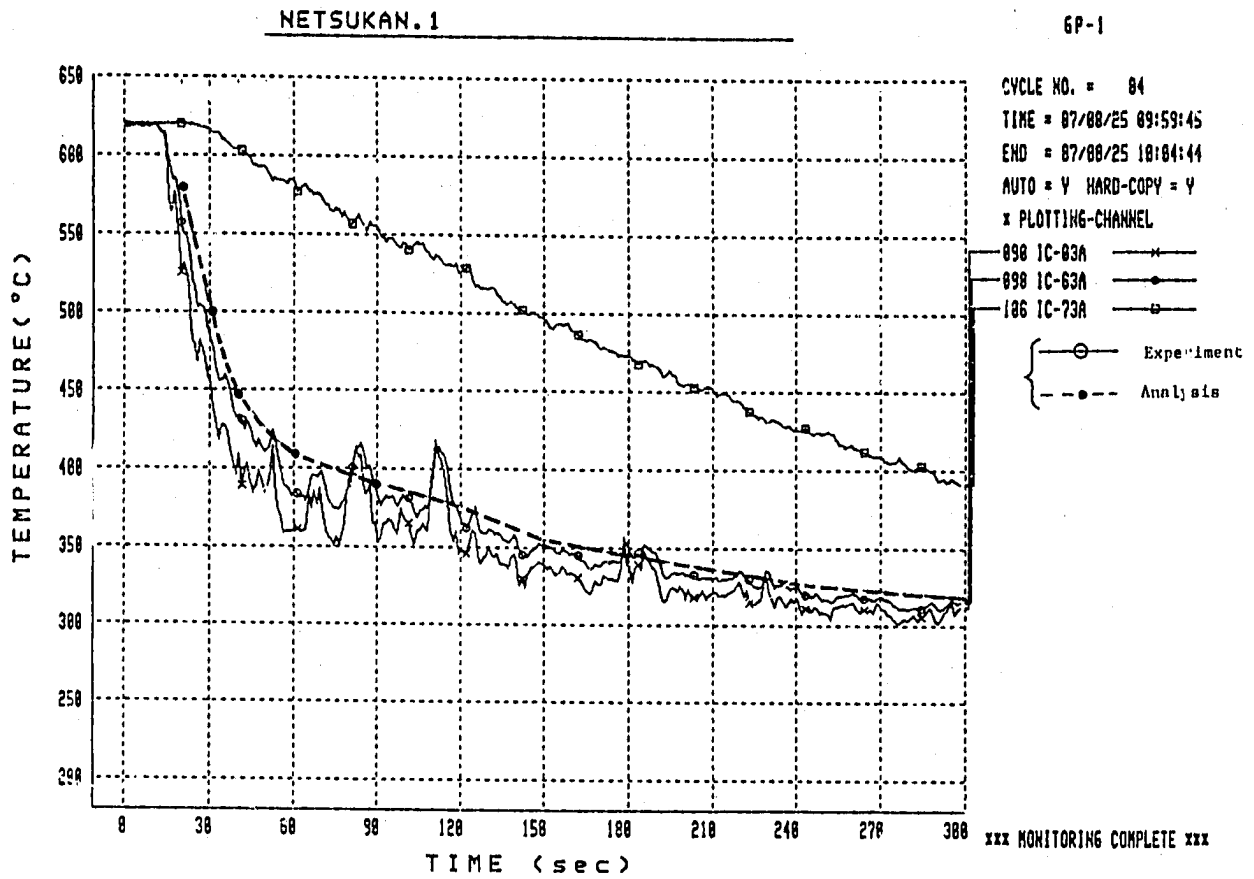


Fig. B.5.1 Comparison of Measured and Calculated Temperature at IC-63A

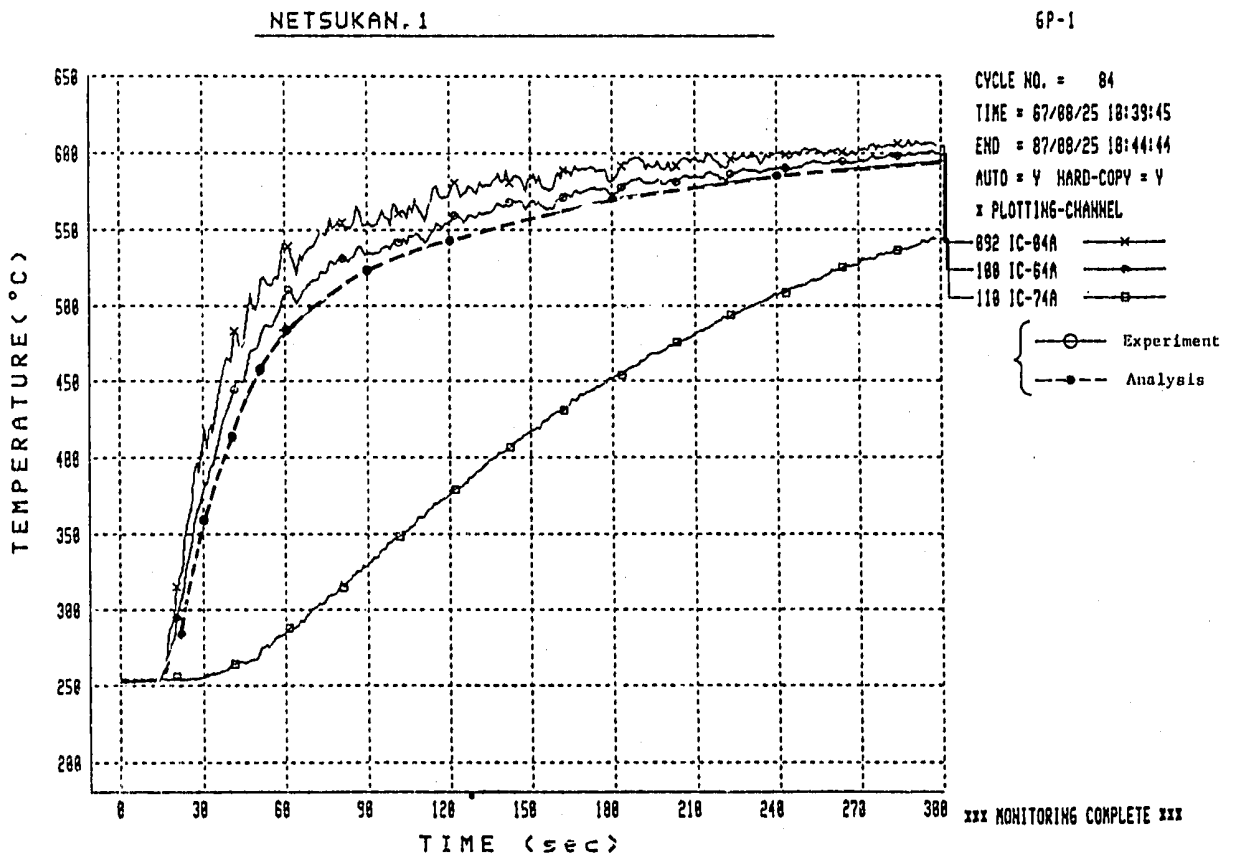
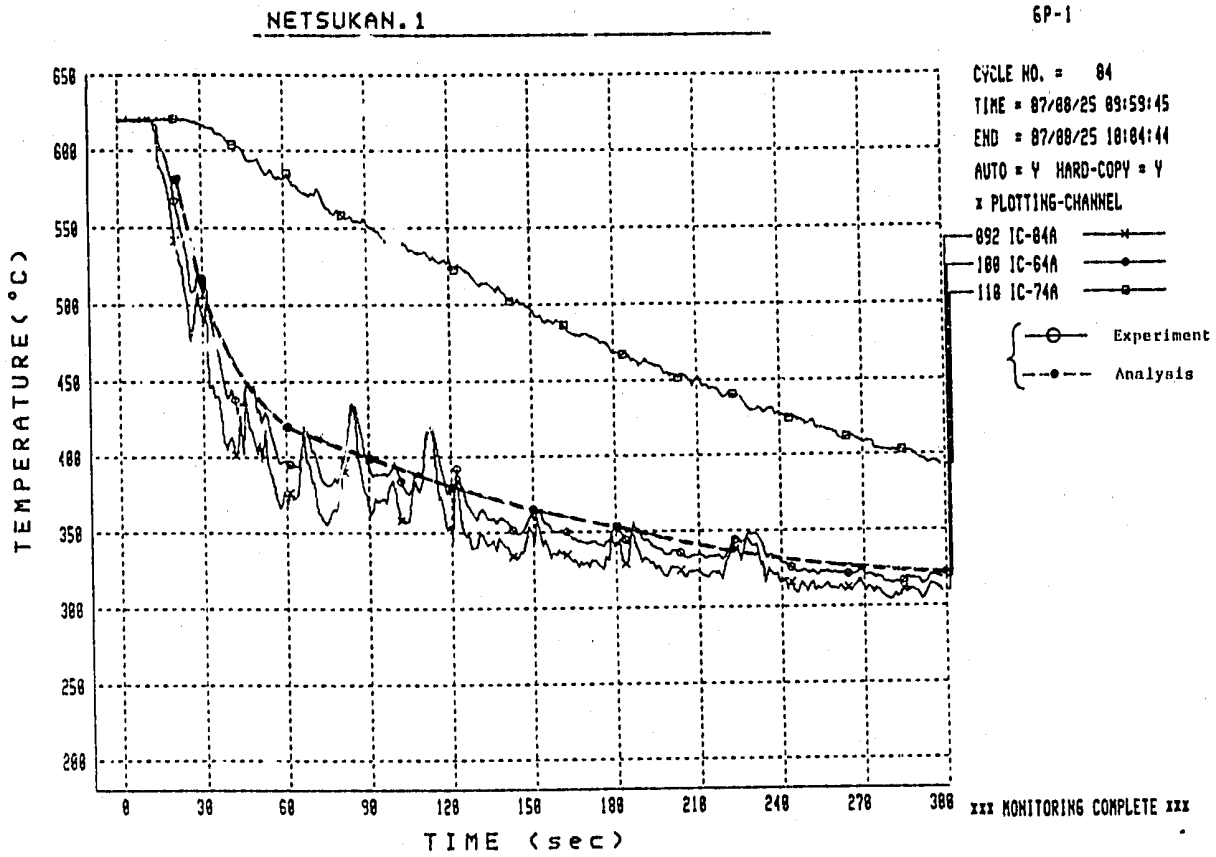


Fig. B.5.2 Comparison of Measured and Calculated Temperature at IC-64A

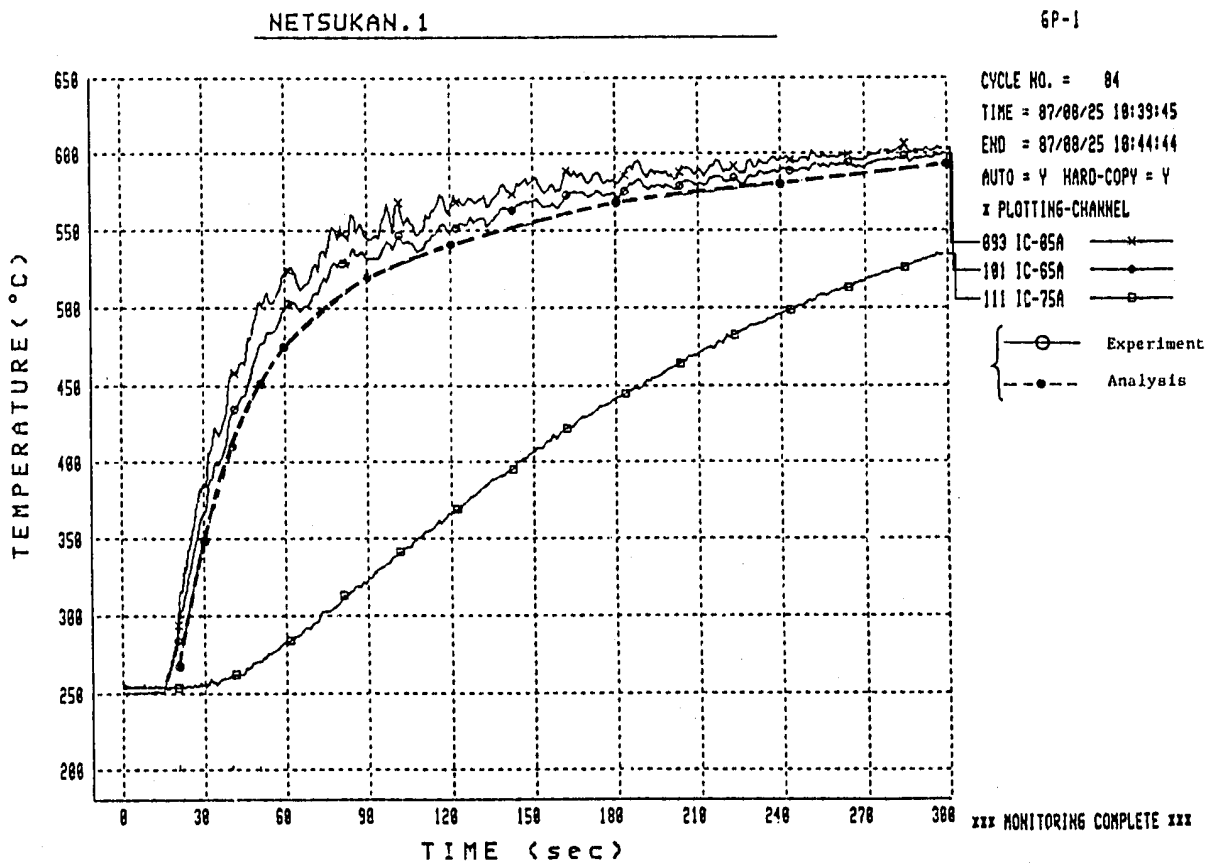
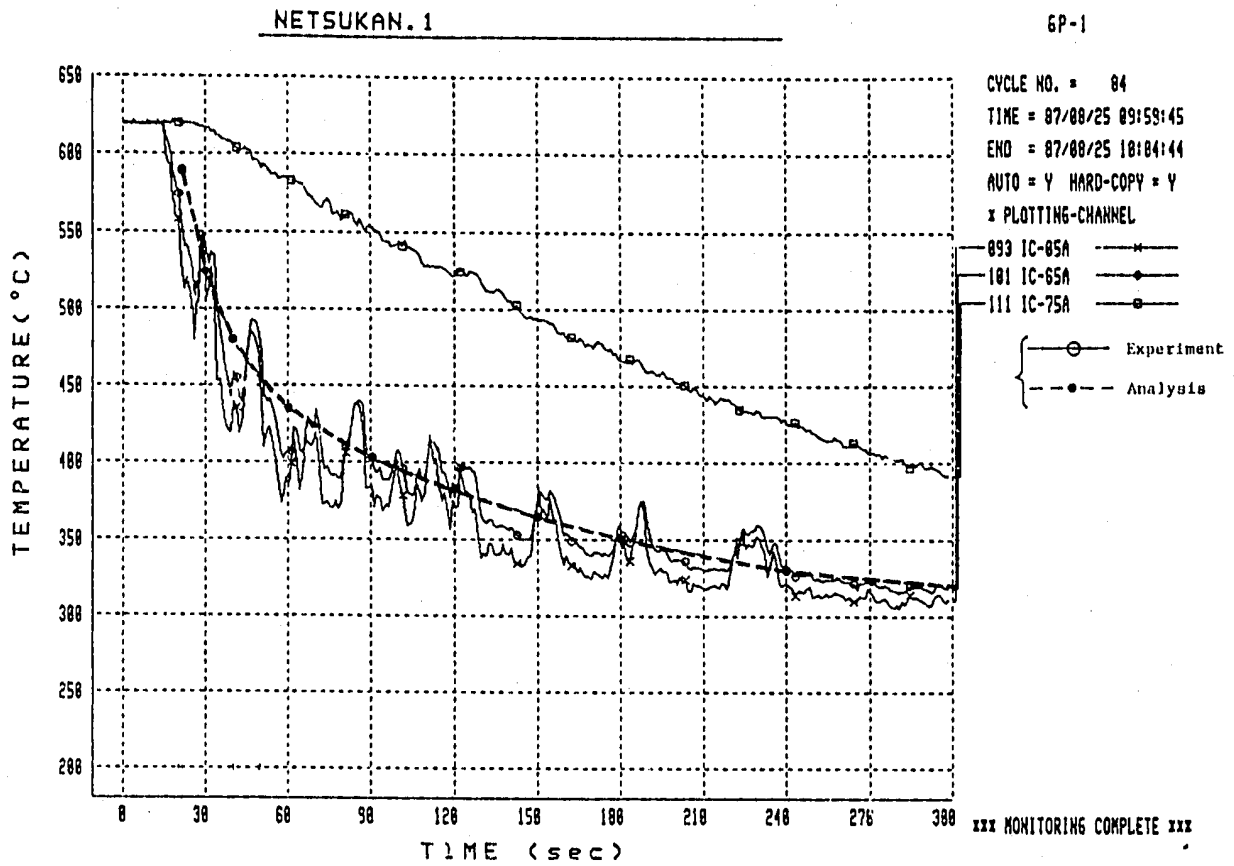


Fig. B.5.3 Comparison of Measured and Calculated Temperature at IC-65A

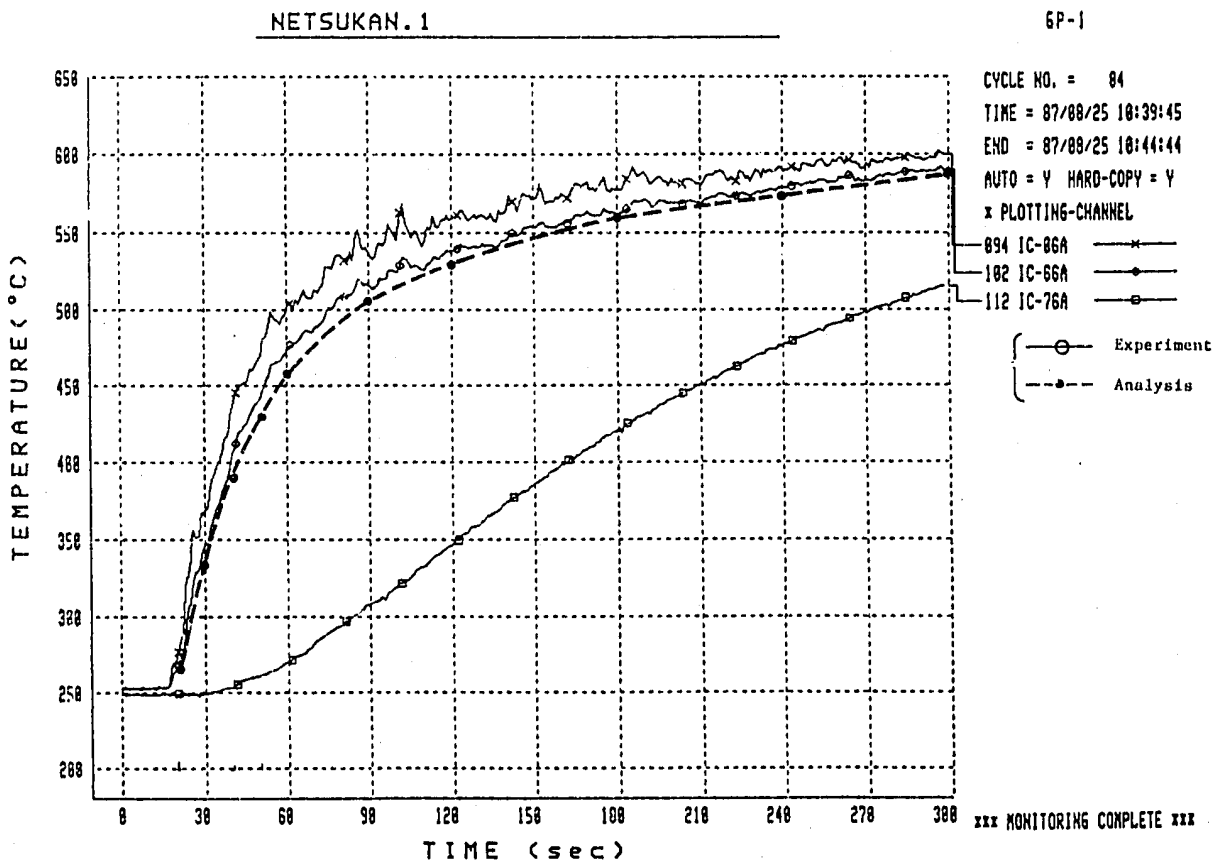
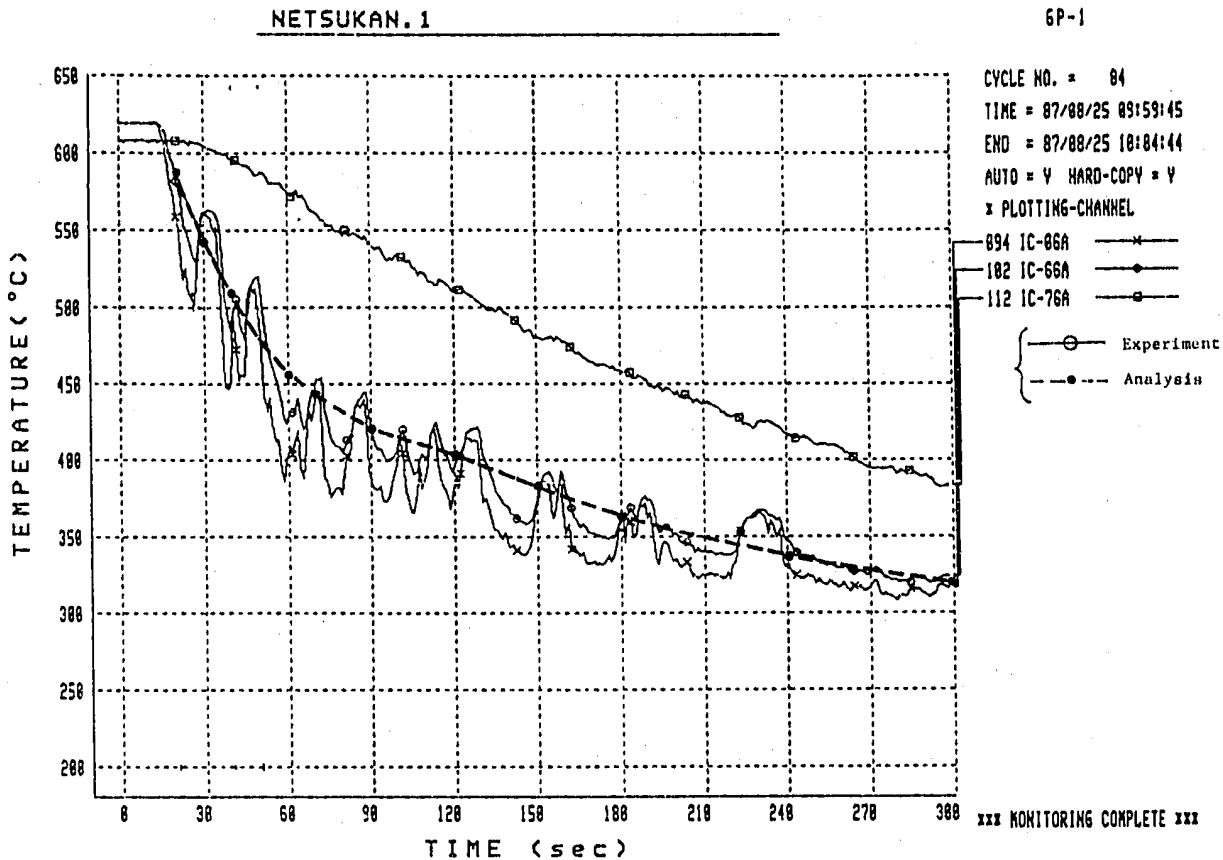


Fig. B.5.4 Comparison of Measured and Calculated Temperature at IC-66A

付録C. 熱応力解析結果

Fig. C.2.1 Classification Lines for Inlet Nozzle

Table C.2.1 Thermal Stress History of Inlet Nozzle (1/3)

Table C.2.2 Thermal Stress History of Inlet Nozzle (2/3)

Table C.2.3 Thermal Stress History of Inlet Nozzle (3/3)

Fig. C.3.1 Classification Lines for Outlet Nozzle

Table C.3.1 Thermal Stress History of Outlet Nozzle

Fig. C.4.1 Classification Lines for Skirt

Table C.4.1 Thermal Stress History of Skirt (1/3)

Table C.4.2 Thermal Stress History of Skirt (2/3)

Table C.4.3 Thermal Stress History of Skirt (3/3)

Fig. C.5.1 Classification Lines for Inner Shell Weldment

Table C.5.1 Thermal Stress History of Inner Shell Weldment (1/2)

Table C.5.2 Thermal Stress History of Inner Shell Weldment (2/2)

Fig. C.6.1 Classification Lines for Slitted Cylinder

Table C.6.1 Thermal Stress History of Slitted Cylinder (1/3)

Table C.6.2 Thermal Stress History of Slitted Cylinder (2/3)

Table C.6.3 Thermal Stress History of Slitted Cylinder (3/3)

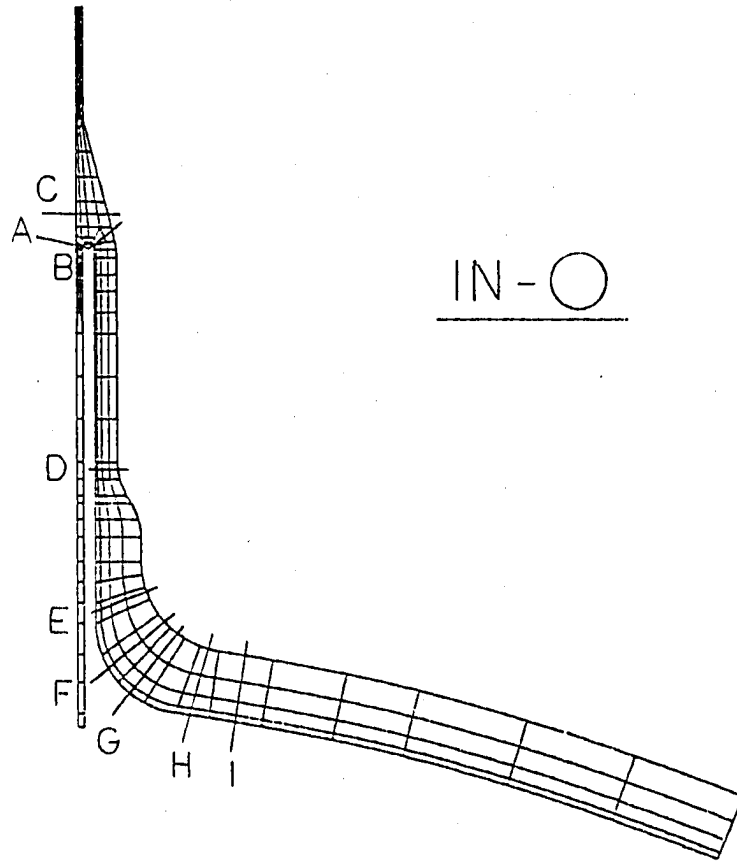


Fig. C.2.1 Classification Lines for Inlet Nozzle

Table C.2.1 Thermal Stress History of Inlet Nozzle (1/3)

ELEMENT - 213 IP - 4 (IN-A)								
STEP	TIME	TEMP	SIG-R	SIG-Z	SIG-TH	SIG-RZ	MIESES	TRESCA
1	Cold 20.00	437.12	1.562	-23.08	36.94	-.5374E-01	52.25	60.02
2	30.00	336.73	2.038	-39.59	42.98	-.1796	71.51	82.57
3	40.00	308.57	1.750	-37.52	34.28	-.2017	62.28	71.81
4	50.00	294.08	1.420	-32.15	26.95	-.1828	51.34	59.10
5	60.00	285.61	1.204	-27.81	21.34	-.1694	42.80	49.16
6	80.00	274.22	0.8794	-21.68	14.88	-.1371	31.95	36.56
7	100.00	267.93	0.7596	-18.87	11.73	-.1264	26.86	30.60
8	Hot 20.00	363.06	-.9173	13.64	-23.47	0.2654E-01	32.39	37.11
9	30.00	505.59	-1.866	37.00	-38.59	0.2188	65.47	75.59
10	40.00	541.22	-1.646	35.50	-31.18	0.2425	57.88	66.69
11	50.00	563.27	-1.364	30.31	-24.34	0.2211	47.53	54.65
12	60.00	577.45	-1.091	24.80	-18.64	0.1873	37.85	43.44
13	70.00	590.77	-.8857	20.00	-14.96	0.1484	30.47	34.96
14	80.00	597.62	-.6919	16.09	-11.21	0.1245	23.84	27.30
15	90.00	601.58	-.5243	12.11	-8.425	0.9129E-01	17.94	20.53
16	120.00	610.80	-.2391	5.658	-3.658	0.4462E-01	9.163	9.316

ELEMENT - 219 IP - 6 (IN-B)								
STEP	TIME	TEMP	SIG-R	SIG-Z	SIG-TH	SIG-RZ	MIESES	TRESCA
1	Cold 20.00	577.10	25.90	25.24	12.48	-21.36	39.26	42.73
2	30.00	500.09	31.17	30.75	16.50	-25.93	47.18	51.86
3	40.00	439.63	25.78	25.49	14.75	-21.48	38.77	42.97
4	50.00	395.35	22.10	22.09	13.98	-18.49	33.04	36.98
5	60.00	362.25	20.26	20.72	14.61	-17.13	30.24	34.25
6	80.00	320.53	18.33	19.53	15.85	-15.80	27.56	31.62
7	100.00	298.60	17.98	19.66	17.14	-15.70	27.28	31.44
8	Hot 20.00	275.45	-13.98	-12.89	-6.114	11.37	21.03	22.76
9	30.00	349.83	-30.40	-29.88	-17.25	25.34	45.75	50.69
10	40.00	411.44	-24.83	-24.45	-14.79	20.71	37.19	41.41
11	50.00	459.31	-20.05	-19.71	-12.08	16.68	29.92	33.36
12	60.00	497.17	-16.04	-15.84	-10.05	13.35	23.86	26.70
13	70.00	526.90	-13.32	-13.25	-8.687	11.10	19.77	22.20
14	80.00	549.57	-10.72	-10.76	-7.263	8.967	15.92	17.93
15	90.00	566.01	-8.093	-8.158	-5.664	6.777	11.99	13.55
16	120.00	595.42	-3.770	-3.784	-2.728	3.161	5.574	6.321

ELEMENT - 183 IP - 4 (IN-C)								
STEP	TIME	TEMP	SIG-R	SIG-Z	SIG-TH	SIG-RZ	MIESES	TRESCA
1	Cold 20.00	450.84	0.5439	23.96	47.25	0.2351	40.45	46.71
2	30.00	348.95	0.2436	21.16	50.81	0.3308	44.01	50.57
3	40.00	313.55	0.7360E-01	15.09	38.28	0.3246	33.34	38.21
4	50.00	294.74	-.2523E-02	12.34	29.02	0.2957	25.24	29.03
5	60.00	284.31	-.5719E-02	10.44	22.31	0.2622	19.35	22.32
6	80.00	271.79	-.4085E-01	8.899	14.73	0.2056	12.89	14.77
7	100.00	265.61	-.2294E-01	8.237	11.15	0.1751	10.05	11.18
8	Hot 20.00	355.56	-.4258	-14.62	-28.70	-.1326	24.49	28.28
9	30.00	492.51	-.2607	-19.75	-47.38	-.2757	41.01	47.12
10	40.00	534.67	-.1229	-14.23	-36.31	-.2812	31.59	36.19
11	50.00	561.22	-.5595E-01	-11.04	-27.67	-.2575	24.08	27.62
12	60.00	577.80	-.1725E-01	-8.489	-20.78	-.2173	18.09	20.77
13	70.00	591.99	0.1935E-01	-7.223	-16.64	-.1801	14.47	16.66
14	80.00	599.21	0.1194E-01	-5.424	-12.43	-.1432	10.80	12.44
15	90.00	603.34	0.2922E-01	-4.162	-9.162	-.1105	7.973	9.195
16	120.00	611.85	0.2143E-02	-1.902	-4.002	-.5026E-01	3.470	4.005

Table C.2.2 Thermal Stress History of Inlet Nozzle (2/3)

ELEMENT - 355 IP - 4 (IN - D)

STEP	TIME	TEMP	SIG-R	SIG-Z	SIG-TH	SIG-RZ	MIESES	TRESCA
1 Cold	20.00	570.16	-.9998E-02	16.30	13.92	0.2498E-01	15.26	16.31
2	30.00	510.34	-.2879E-01	28.72	22.55	0.6119E-01	26.22	28.75
3	40.00	484.57	-.2557E-01	25.27	17.82	0.7616E-01	22.52	25.30
4	50.00	470.63	-.2830E-01	21.30	14.08	0.7652E-01	18.79	21.33
5	60.00	463.00	-.1296E-01	18.25	11.20	0.7450E-01	15.95	18.26
6	80.00	454.12	-.2108E-01	15.02	8.019	0.6889E-01	13.04	15.04
7	100.00	450.81	-.1176E-01	13.21	6.172	0.6399E-01	11.46	13.22
8 Hot	20.00	262.18	-.9045E-03	0.3094	-.7165	0.1304E-02	0.9113	1.026
9	30.00	340.67	0.2884E-01	-25.67	-19.58	-.4568E-01	23.26	25.70
10	40.00	387.54	0.4024E-01	-30.54	-20.30	-.7499E-01	26.96	30.58
11	50.00	425.07	0.4327E-01	-30.40	-18.03	-.8926E-01	26.52	30.45
12	60.00	458.04	0.5355E-01	-29.31	-15.96	-.9534E-01	25.47	29.37
13	70.00	486.51	0.5606E-01	-27.68	-13.84	-.9638E-01	24.02	27.73
14	80.00	511.43	0.5380E-01	-25.91	-11.92	-.9449E-01	22.51	25.96
15	90.00	532.33	0.5573E-01	-23.81	-9.988	-.9042E-01	20.76	23.87
16	120.00	573.37	0.4714E-01	-17.06	-4.846	-.7196E-01	15.26	17.11

ELEMENT - 435 IP - 4 (IN - E)

STEP	TIME	TEMP	SIG-R	SIG-Z	SIG-TH	SIG-RZ	MIESES	TRESCA
1 Cold	20.00	603.45	0.3010E-01	5.829	5.882	-.1315E-01	5.825	5.852
2	30.00	576.46	0.5001E-01	13.04	13.89	-.1695E-01	13.44	13.84
3	40.00	566.28	-.9335E-02	12.19	13.46	-.1400E-01	12.88	13.47
4	50.00	561.55	-.3591E-01	10.39	11.33	-.7241E-02	10.93	11.36
5	60.00	558.70	-.3782E-01	8.698	9.030	0.1976E-03	8.906	9.067
6	80.00	553.79	-.5860E-01	6.516	5.647	0.1006E-01	6.186	6.575
7	100.00	550.44	-.6244E-01	5.019	3.166	0.1474E-01	4.454	5.082
8 Hot	20.00	280.17	-.1997	-2.532	-5.527	-.3627E-01	4.626	5.328
9	30.00	350.21	-.2840	-26.01	-32.00	-.1587E-01	29.18	31.71
10	40.00	395.62	-.2875	-36.53	-43.46	0.4205E-02	40.16	43.17
11	50.00	434.85	-.2910	-43.56	-50.27	0.1706E-01	46.99	49.98
12	60.00	463.90	-.2390	-46.35	-52.04	0.3051E-01	49.20	51.81
13	70.00	489.47	-.2160	-48.02	-52.37	0.3598E-01	50.12	52.15
14	80.00	509.86	-.1904	-47.70	-50.81	0.3989E-01	49.14	50.62
15	90.00	525.69	-.1579	-46.01	-47.92	0.4211E-01	46.84	47.76
16	120.00	554.68	-.8346E-01	-37.64	-36.12	0.3699E-01	36.82	37.55

ELEMENT - 455 IP - 4 (Line - F)

STEP	TIME	TEMP	SIG-R	SIG-Z	SIG-TH	SIG-RZ	MIESES	TRESCA
1 Cold	20.00	603.14	1.439	3.813	6.740	-2.230	6.006	6.640
2	30.00	575.35	3.170	8.509	17.11	-5.023	14.97	16.96
3	40.00	564.60	2.850	7.761	19.32	-4.636	16.70	19.26
4	50.00	560.04	2.439	6.639	19.15	-3.971	16.55	19.10
5	60.00	557.68	2.084	5.655	18.25	-3.374	15.83	18.20
6	80.00	554.05	1.642	4.467	16.63	-2.660	14.55	16.59
7	100.00	551.86	1.324	3.610	15.08	-2.141	13.30	15.04
8 Hot	20.00	280.21	-1.338	-3.199	-1.510	1.746	3.510	3.957
9	30.00	352.28	-6.702	-18.03	-30.46	10.64	27.63	30.15
10	40.00	399.69	-8.722	-23.68	-45.07	14.08	39.95	44.81
11	50.00	440.56	-9.981	-27.19	-54.92	16.21	48.28	54.69
12	60.00	470.73	-10.25	-28.04	-59.37	16.77	51.96	59.21
13	70.00	496.81	-10.40	-28.51	-61.84	17.07	54.00	61.70
14	80.00	517.32	-10.16	-27.89	-62.05	16.71	54.08	61.94
15	90.00	532.84	-9.661	-26.55	-60.55	15.92	52.69	60.47
16	120.00	559.73	-7.657	-21.11	-50.84	12.67	44.12	50.80

Table C.2.3 Thermal Stress History of Inlet Nozzle (3/3)

ELEMENT - 483 IP - 4 (IN-G)

STEP	TIME	TEMP	SIG-R	SIG-Z	SIG-TH	SIG-RZ	MIESES	TRESCA
1 Cold	20.00	603.13	3.178	2.065	6.816	-2.435	6.026	6.692
2	30.00	575.25	7.107	4.585	17.44	-5.508	15.17	17.24
3	40.00	564.42	6.516	4.163	20.13	-5.112	17.36	20.04
4	50.00	559.88	5.629	3.593	20.51	-4.410	17.73	20.43
5	60.00	557.60	4.852	3.101	20.13	-3.782	17.50	20.04
6	80.00	554.20	3.931	2.517	19.32	-3.048	16.99	19.23
7	100.00	552.25	3.266	2.098	18.32	-2.518	16.27	18.23
8 Hot	20.00	280.37	-2.713	-1.835	0.1102	1.925	4.168	4.358
9	30.00	352.62	-14.93	-9.610	-28.58	11.62	26.31	28.23
10	40.00	400.23	-19.46	-12.44	-43.25	15.32	38.55	43.02
11	50.00	441.24	-22.36	-14.28	-53.61	17.66	47.21	53.40
12	60.00	471.48	-23.07	-14.71	-58.69	18.28	51.38	58.56
13	70.00	497.53	-23.48	-14.96	-61.81	18.63	53.94	61.70
14	80.00	517.98	-22.99	-14.65	-62.65	18.26	54.53	62.56
15	90.00	533.38	-21.91	-13.96	-61.74	17.41	53.63	61.66
16	120.00	559.78	-17.49	-11.14	-53.43	13.93	46.28	53.40

ELEMENT - 503 IP - 4 (IN-H)

STEP	TIME	TEMP	SIG-R	SIG-Z	SIG-TH	SIG-RZ	MIESES	TRESCA
1 Cold	20.00	603.57	5.571	0.6338	6.631	-.6688	5.663	6.086
2	30.00	577.20	13.12	1.383	16.55	-1.597	14.05	15.38
3	40.00	568.03	13.26	1.307	18.57	-1.639	15.58	17.48
4	50.00	564.28	12.38	1.279	18.86	-1.525	15.62	17.78
5	60.00	562.45	11.32	1.244	18.55	-1.385	15.25	17.50
	80.00	559.47	9.914	1.216	18.07	-1.191	14.75	17.02
	100.00	557.68	8.779	1.184	17.41	-1.034	14.17	16.36
ot	20.00	282.95	-2.188	-.3597	0.2880	0.2224	2.257	2.503
	30.00	352.10	-24.97	-2.023	-26.65	3.153	24.45	25.05
10	40.00	396.40	-36.32	-2.222	-40.44	4.799	37.27	38.88
11	50.00	434.98	-44.37	-2.482	-50.46	5.949	46.40	48.81
12	60.00	463.29	-48.00	-2.452	-55.49	6.515	50.99	53.96
13	70.00	488.10	-50.37	-2.430	-58.85	6.890	54.03	57.39
14	80.00	507.62	-50.60	-2.438	-59.93	6.933	54.77	58.47
15	90.00	522.41	-49.28	-2.365	-59.27	6.767	53.92	57.87
16	120.00	548.63	-41.61	-1.878	-51.98	5.763	46.88	50.92

ELEMENT - 513 IP - 4 (IN-I)

STEP	TIME	TEMP	SIG-R	SIG-Z	SIG-TH	SIG-RZ	MIESES	TRESCA
1 Cold	20.00	611.98	3.338	-.1272	3.001	-.5672	3.452	3.646
2	30.00	598.63	8.364	-.2982	7.527	-1.418	8.632	9.114
3	40.00	593.18	9.230	-.3134	8.481	-1.561	9.581	10.04
4	50.00	590.71	8.796	-.3411	8.447	-1.494	9.333	9.613
5	60.00	589.33	8.069	-.3476	8.106	-1.376	8.766	8.855
6	80.00	587.13	6.868	-.3893	7.471	-1.135	7.850	8.049
7	100.00	585.63	5.877	-.4060	6.821	-1.025	7.032	7.390
8 Hot	20.00	289.26	-.2671	-.4146E-01	-.7080	0.2648E-01	0.5890	0.6696
9	30.00	329.16	-17.60	0.4913E-01	-15.73	2.901	17.53	18.58
10	40.00	369.12	-30.78	-.3394	-28.74	5.055	30.75	32.08
11	50.00	403.91	-39.62	-.4806	-37.91	6.522	39.94	41.26
12	60.00	432.14	-44.65	-.6381	-43.51	7.349	45.28	46.40
13	70.00	457.34	-47.93	-.7466	-47.46	7.890	48.90	49.75
14	80.00	475.76	-48.38	-.7005	-48.37	7.978	49.63	50.28
15	90.00	490.21	-47.47	-.6858	-47.85	7.832	48.89	49.33
16	120.00	521.31	-41.26	-.6491	-42.85	6.818	43.08	43.31

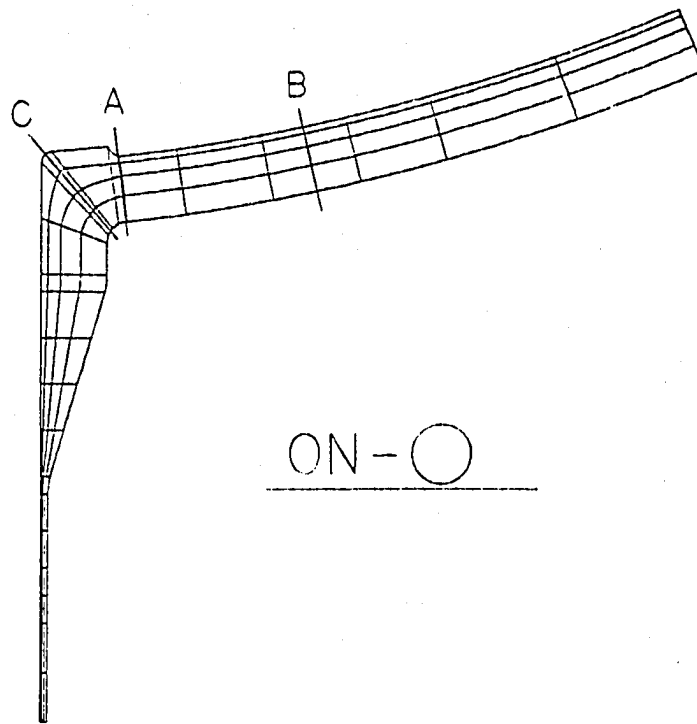


Fig. C.3.1 Classification Lines for Outlet Nozzle

Table C.3.1 Thermal Stress History of Outlet Nozzle

ELEMENT - 1601 IP - 7 (ON-A)

STEP	TIME	TEMP	SIG-R	SIG-Z	SIG-TH	SIG-RZ	MIESES	TRESCA
1 Cold	70.00	531.22	55.41	9.752	35.13	-4.407	40.35	46.50
2	80.00	515.61	59.51	10.30	37.47	-4.434	43.38	50.00
3	90.00	503.40	60.60	10.36	37.98	-4.353	44.23	50.99
4	105.00	487.87	59.77	10.06	37.46	-4.110	43.71	50.38
5	150.00	453.00	52.34	8.628	33.14	-3.517	38.44	44.28
6	200.00	415.07	47.99	7.823	30.59	-3.181	35.32	40.67
7 Hot	120.00	313.54	-31.51	-5.179	-18.45	2.415	23.18	26.77
8	160.00	346.64	-39.98	-6.494	-23.72	2.839	29.42	33.96
9	200.00	377.12	-43.16	-7.008	-25.96	2.989	31.75	36.65
10	220.00	391.07	-43.21	-7.027	-26.13	2.958	31.77	36.67
11	240.00	404.96	-43.19	-7.041	-26.27	2.946	31.74	36.63
12	300.00	440.02	-38.75	-6.347	-23.70	2.587	28.44	32.81

ELEMENT - 1571 IP - 4 (ON-B)

STEP	TIME	TEMP	SIG-R	SIG-Z	SIG-TH	SIG-RZ	MIESES	TRESCA
1 Cold	70.00	528.03	26.34	1.369	26.47	5.776	26.96	27.51
2	80.00	513.17	28.14	1.425	28.14	6.178	28.78	29.43
3	90.00	501.64	28.62	1.445	28.52	6.285	29.23	29.94
4	105.00	487.26	28.27	1.415	28.09	6.210	28.85	29.59
5	150.00	454.31	24.94	1.253	24.81	5.478	25.46	26.10
6	200.00	417.14	22.93	1.149	22.89	5.035	23.44	23.99
7 Hot	120.00	314.24	-14.31	-0.7322	-14.12	-3.141	14.54	14.96
8	160.00	346.50	-18.21	-0.9098	-18.02	-4.001	18.55	19.06
9	200.00	376.04	-19.74	-0.9808	-19.60	-4.336	20.14	20.66
10	220.00	389.54	-19.77	-0.9825	-19.66	-4.341	20.19	20.69
11	240.00	403.09	-19.78	-0.9818	-19.71	-4.344	20.22	20.71
12	300.00	437.16	-17.57	-0.8548	-17.56	-3.861	18.00	18.41

ELEMENT - 1651 IP - 4 (ON-C)

STEP	TIME	TEMP	SIG-R	SIG-Z	SIG-TH	SIG-RZ	MIESES	TRESCA
1 Cold	70.00	533.95	0.1230	18.47	22.37	0.1235	20.58	22.25
2	80.00	519.36	0.1271	18.86	23.23	0.1245	21.26	23.10
3	90.00	507.51	0.1229	18.59	23.07	0.1237	21.07	22.95
4	105.00	492.19	0.1082	17.80	22.13	0.1158	20.21	22.02
5	150.00	456.23	0.8353E-01	15.02	18.33	0.9188E-01	16.84	18.25
6	200.00	417.37	0.8165E-01	13.55	16.29	0.8059E-01	15.03	16.21
7 Hot	120.00	322.64	-0.1004	-11.78	-14.78	-0.6387E-01	13.43	14.68
8	160.00	356.77	-0.1007	-13.55	-17.09	-0.7219E-01	15.53	16.99
9	200.00	388.11	-0.9464E-01	-14.07	-17.47	-0.7339E-01	15.95	17.38
10	220.00	402.31	-0.9203E-01	-13.84	-17.05	-0.7152E-01	15.60	16.96
11	240.00	416.42	-0.8285E-01	-13.67	-16.67	-0.7125E-01	15.31	16.59
12	300.00	453.42	-0.7264E-01	-12.18	-14.54	-0.6050E-01	13.45	14.47

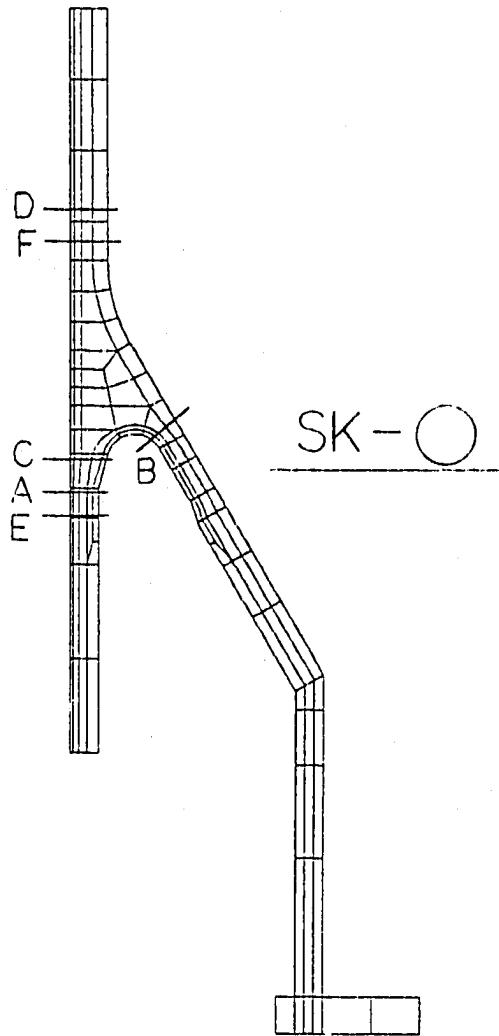


Fig. C.4.1 Classification Lines for Skirt

Table C.4.1 Stress History of Skirt (1/3)

ELEMENT - 1401		IP - 7 (SK-A)							
STEP	TIME	TEMP	SIG-R	SIG-Z	SIG-TH	SIG-RZ	MIESES	TRESCA	
1	Cold 0.00	614.27	-.2134	12.76	-8.884	-.1148	18.87	21.65	
2	60.00	540.08	0.1991	39.23	17.71	-.1501	33.86	39.03	
3	90.00	494.34	0.3301	49.10	28.58	-.1684	42.42	48.77	
4	120.00	460.25	0.4706	51.76	33.90	-.1637	45.10	51.29	
5	150.00	439.16	0.5173	48.69	34.19	-.1449	42.81	48.18	
6	300.00	363.40	0.7592	32.28	33.77	-.6417E-01	32.29	33.01	
7	600.00	311.03	0.7317	8.641	25.52	0.2585E-01	21.93	24.79	
8	960.00	286.96	0.5550	0.3646E-02	20.38	0.6756E-01	20.11	20.39	
9	1200.00	272.67	0.4824	-1.970	19.15	0.7601E-01	20.01	21.12	
10	1500.00	267.99	0.3953	-5.326	14.94	0.8309E-01	18.10	20.26	
11	1800.00	261.16	0.3273	-5.389	13.88	0.8357E-01	17.14	19.27	
12	2400.00	257.62	0.2394	-6.653	9.798	0.7613E-01	14.31	16.45	
13	Hot 90.00	296.19	0.8009E-01	-19.51	-4.235	0.8725E-01	17.83	19.59	
14	120.00	322.75	-.6197E-01	-25.78	-11.74	0.9187E-01	22.30	25.71	
15	150.00	345.58	-.1040	-28.95	-16.59	0.9018E-01	25.07	28.85	
16	180.00	368.41	-.2431	-31.26	-20.91	0.8518E-01	27.35	31.02	
17	210.00	388.05	-.2673	-31.42	-23.48	0.7542E-01	28.04	31.15	
18	240.00	407.37	-.4011	-31.12	-25.87	0.6472E-01	28.46	30.72	
19	300.00	434.60	-.4324	-26.36	-26.43	0.3850E-01	25.96	26.00	
20	600.00	525.66	-.6457	-5.924	-26.39	-.6030E-01	23.55	25.74	
21	960.00	563.70	-.5594	6.708	-21.64	-.1139	25.51	28.35	
22	1200.00	577.60	-.5505	9.717	-19.62	-.1296	25.79	29.34	
23	1500.00	589.44	-.4121	11.88	-17.38	-.1394	25.46	29.27	
24	1800.00	595.31	-.4158	13.23	-15.33	-.1418	24.74	28.56	
25	2400.00	606.73	-.2972	13.27	-13.62	-.1367	23.29	26.90	
26	3600.00	613.74	-.2972	13.20	-10.73	-.1236	20.78	23.93	
27	4800.00	614.02	-.1965	11.81	-9.591	-.1119	18.58	21.40	

ELEMENT - 1251		IP - 4 (SK-B)							
STEP	TIME	TEMP	SIG-R	SIG-Z	SIG-TH	SIG-RZ	MIESES	TRESCA	
1	Cold 0.00	548.39	-45.22	-29.55	-17.38	31.42	59.55	64.76	
2	60.00	548.86	-41.91	-27.52	-18.13	29.05	54.42	59.85	
3	90.00	549.07	-37.40	-24.78	-19.49	25.81	47.47	53.15	
4	120.00	549.20	-32.98	-22.09	-21.07	22.68	40.92	46.65	
5	150.00	549.15	-28.92	-19.62	-22.55	19.85	35.36	40.78	
6	300.00	542.50	-13.31	-9.937	-27.86	9.201	22.94	25.59	
7	600.00	505.15	1.184	-.5175	-28.01	-.6461	28.41	29.41	
8	960.00	453.61	8.986	4.770	-21.45	-5.999	30.40	34.69	
9	1200.00	424.14	12.63	7.262	-16.90	-8.520	30.99	35.78	
10	1500.00	393.76	15.28	9.124	-11.94	-10.37	30.56	34.96	
11	1800.00	369.82	16.46	10.01	-8.059	-11.20	29.34	32.95	
12	2400.00	335.73	17.09	10.58	-2.814	-11.68	26.80	28.77	
13	Hot 90.00	331.97	15.35	9.560	-1.252	-10.41	23.20	24.51	
14	120.00	330.78	13.34	8.353	-.1421	-8.965	19.51	20.29	
15	150.00	329.65	10.97	6.923	1.114	-7.266	15.23	15.37	
16	180.00	328.61	8.253	5.284	2.484	-5.344	10.52	11.09	
17	210.00	327.73	5.471	3.602	3.931	-3.388	6.118	7.029	
18	240.00	327.06	2.677	1.906	5.398	-1.436	4.034	4.593	
19	300.00	326.57	-2.564	-1.297	8.069	2.195	10.75	12.28	
20	600.00	342.48	-22.00	-13.51	14.71	15.50	42.77	48.54	
21	960.00	384.09	-33.98	-21.43	10.50	23.67	57.09	62.69	
22	1200.00	413.02	-38.88	-24.75	5.283	27.04	60.99	65.05	
23	1500.00	444.33	-43.11	-27.64	-.7851	29.94	63.76	65.51	
24	1800.00	469.31	-45.39	-29.25	-5.766	31.51	64.57	65.05	
25	2400.00	503.48	-47.62	-30.86	-12.06	33.05	65.01	68.19	
26	3600.00	537.03	-47.42	-30.92	-17.01	32.92	62.83	67.88	
27	4800.00	548.91	-44.96	-29.40	-17.60	31.25	59.11	64.40	

Table C.4.2 Stress History of Skirt (2/3)

ELEMENT - 1391 IP - 7 (SK-C)

STEP	TIME	TEMP	SIG-R	SIG-Z	SIG-TH	SIG-RZ	MIESES	TRESCA
1	Cold 0.00	614.03	0.1663E-01	18.64	-8.090	-.8019E-02	23.74	26.73
2	60.00	540.86	0.1961	40.26	18.28	0.5219E-01	34.75	40.06
3	90.00	495.25	0.3310	46.07	29.90	0.2199	40.18	45.74
4	120.00	461.58	0.3175	46.03	35.97	0.2759	41.61	45.72
5	150.00	440.85	0.3482	41.61	37.02	0.3166	39.17	41.26
6	300.00	366.28	0.3028	21.55	38.09	0.3176	32.81	37.79
7	600.00	313.67	0.1841	-2.592	29.08	0.2120	30.38	31.69
8	960.00	288.74	0.1205	-9.805	22.57	0.1549	28.73	32.38
9	1200.00	274.26	0.5660E 01	-11.32	20.73	0.1195	28.15	32.05
10	1500.00	269.15	0.5168E-01	-13.27	16.09	0.9605E-01	25.46	29.36
11	1800.00	262.18	-.1034E-02	-12.58	14.54	0.6206E-01	23.51	27.12
12	2400.00	258.25	0.6526E-03	-12.23	10.13	0.4588E-01	19.39	22.36
13	Hot 90.00	296.50	-.1389	-22.48	-4.002	-.4057E-01	20.69	22.35
14	120.00	322.83	-.2365	-26.50	-11.71	-.1010	22.81	26.26
15	150.00	345.54	-.2308	-27.76	-16.93	-.1596	24.02	27.53
16	180.00	368.09	-.3353	-28.42	-21.62	-.2041	25.38	28.08
17	210.00	387.54	-.2928	-27.19	-24.58	-.2359	25.70	26.90
18	240.00	406.57	-.3790	-25.66	-27.27	-.2596	26.13	26.90
19	300.00	433.52	-.3156	-19.29	-28.39	-.2827	24.81	28.08
20	600.00	523.76	-.2007	5.001	-28.40	-.2036	31.13	33.41
21	960.00	562.24	-.1185	17.34	-22.57	-.1315	34.65	39.91
22	1200.00	576.39	-.1909	19.74	-19.98	-.1071	34.40	39.72
23	1500.00	588.60	-.4911E-01	21.15	-17.31	-.7892E-01	33.37	38.46
24	1800.00	594.61	-.1226	21.73	-14.93	-.5731E-01	31.94	36.66
25	2400.00	606.26	0.1845E-01	20.95	-12.92	-.2930E-01	29.60	33.87
26	3600.00	613.34	-.4956E-01	19.66	-9.876	-.4471E-02	26.05	29.54
27	4800.00	613.79	0.5099E-01	17.50	-8.751	-.1221E-02	23.15	26.26

ELEMENT - 1151 IP - 7 (SK-D)

STEP	TIME	TEMP	SIG-R	SIG-Z	SIG-TH	SIG-RZ	MIESES	TRESCA
1	Cold 0.00	620.51	-.8388E-01	-1.307	1.283	-.7159E-01	2.247	2.594
2	60.00	600.29	0.4697	8.076	7.727	0.1610	7.443	7.613
3	90.00	556.87	0.7442	23.45	21.26	0.3153	21.70	22.72
4	120.00	522.39	0.6636	31.39	28.73	0.3481	29.50	30.74
5	150.00	499.39	0.6955	33.91	30.91	0.3575	31.83	33.22
6	300.00	413.65	0.6192	34.63	30.07	0.3456	31.98	34.02
7	600.00	338.47	0.4140	20.30	15.22	0.2135	17.90	19.89
8	960.00	301.96	0.2996	11.45	6.731	0.1602	9.699	11.16
9	1200.00	286.93	0.2311	8.941	4.838	0.1203	7.550	8.713
10	1500.00	275.89	0.1906	6.448	2.818	0.1058	5.445	6.261
11	1800.00	268.22	0.1392	4.989	1.974	0.7752E-01	4.244	4.853
12	2400.00	262.31	0.1130	2.783	0.3653	0.7134E-01	2.556	2.673
13	Hot 90.00	324.40	0.2438	-17.31	-20.60	0.2335	19.41	20.84
14	120.00	349.93	0.2091	-23.76	-26.37	0.2334	25.38	26.58
15	150.00	370.46	0.2219	-27.31	-29.20	0.2320	28.53	29.42
16	180.00	390.11	0.9550E-01	-30.47	-31.30	0.1915	30.99	31.40
17	210.00	410.68	0.1048	-33.10	-33.24	0.1775	33.27	33.34
18	240.00	431.16	0.5837E-01	-35.12	-34.80	0.1813	35.02	35.18
19	300.00	460.28	0.1132	-34.54	-33.19	0.1704	34.00	34.65
20	600.00	544.15	-.7253E-01	-21.71	-16.87	0.3566E-01	19.67	21.64
21	960.00	584.79	-.6158E-01	-12.35	-7.427	0.7785E-04	10.71	12.29
22	1200.00	594.78	-.2012	-8.741	-3.715	-.5797E-01	7.434	8.540
23	1500.00	603.90	-.1372	-6.674	-1.993	-.9703E-01	5.837	6.540
24	1800.00	609.29	-.1957	-5.194	-.9705	-.9723E-01	4.662	5.002
25	2400.00	616.23	-.1131	-3.731	0.7642E-02	-.1092	3.684	3.741
26	3600.00	619.64	-.1387	-2.070	0.7932	-.8742E-01	2.534	2.867
27	4800.00	620.37	-.3554E-01	-1.856	0.6498	-.7013E-01	2.247	2.509

Table C.4.3 Stress History of Skirt (3/3)

ELEMENT - 1401 IP - 1 (SK-E)								
STEP	TIME	TEMP	SIG-R	SIG-Z	SIG-TH	SIG-RZ	MIESES	TRESCA
1 Cold	0.00	614.33	0.4857	6.681	-8.648	-.6060E-01	13.36	15.33
2	60.00	540.07	0.6257	33.31	17.02	0.3248E-01	28.31	32.69
3	90.00	494.31	0.5747	43.47	26.77	0.1477	37.45	42.90
4	120.00	460.09	0.5026	46.76	31.15	0.2480	40.76	46.26
5	150.00	438.88	0.3930	44.45	30.77	0.3204	39.06	44.07
6	300.00	362.72	0.2380E-01	31.97	28.84	0.4792	30.51	31.96
7	600.00	310.39	-.3037	12.58	21.22	0.4293	18.78	21.54
8	960.00	286.53	-.3771	5.159	17.36	0.3106	15.73	17.75
9	1200.00	272.29	-.4076	3.501	16.62	0.2660	15.46	17.05
10	1500.00	267.71	-.3836	-.6931E-02	12.97	0.2102	13.18	13.45
11	1800.00	260.92	-.3756	-.2550	12.35	0.1686	12.67	12.84
12	2400.00	257.47	-.3157	-2.219	8.776	0.1168	10.18	11.00
13 Hot	90.00	296.04	-.3583	-15.42	-4.715	0.6531E-01	13.42	15.06
14	120.00	322.63	-.3946	-22.04	-11.69	0.1194E-01	18.75	21.65
15	150.00	345.50	-.3247	-25.66	-16.00	-.4494E-01	22.14	25.33
16	180.00	368.39	-.3431	-28.47	-19.79	-.1006	24.95	28.13
17	210.00	388.10	-.2410	-29.22	-21.89	-.1508	26.10	28.99
18	240.00	407.48	-.2496	-29.60	-23.87	-.1946	26.95	29.36
19	300.00	434.84	-.6440E-01	-26.17	-23.84	-.2581	25.03	26.11
20	600.00	526.15	0.4141	-11.13	-23.22	-.3348	20.48	23.64
21	960.00	564.08	0.6136	-.8229	-19.38	-.2580	19.32	20.04
22	1200.00	577.90	0.5716	1.793	-17.90	-.2105	19.12	19.73
23	1500.00	589.66	0.6493	3.887	-16.11	-.1677	18.59	20.01
24	1800.00	595.49	0.5681	5.352	-14.43	-.1328	17.88	19.79
25	2400.00	606.84	0.6072	5.791	-13.05	-.9977E-01	16.86	18.84
26	3600.00	613.84	0.4785	6.501	-10.44	-.6947E-01	14.87	16.94
27	4800.00	614.08	0.4910	5.801	-9.399	-.5482E-01	13.36	15.20

ELEMENT - 1161 IP - 4 (SK-F)								
STEP	TIME	TEMP	SIG-R	SIG-Z	SIG-TH	SIG-RZ	MIESES	TRESCA
1 Cold	0.00	617.44	0.8605E-01	-5.955	0.1553	0.7191E-02	6.076	6.110
2	60.00	559.63	2.138	14.82	23.39	0.8885E-01	18.52	21.26
3	90.00	512.18	1.906	29.66	38.69	0.8532E-01	33.20	36.78
4	120.00	485.04	1.385	35.33	43.32	0.5756E-01	38.56	41.93
5	150.00	463.34	1.462	38.41	45.75	0.5171E-01	41.11	44.29
6	300.00	388.06	0.9625	37.86	43.13	0.4160E-01	39.80	42.17
7	600.00	327.85	0.3800	22.82	24.80	0.3594E-01	23.49	24.42
8	960.00	296.61	0.1725	14.52	13.94	0.2592E-01	14.07	14.35
9	1200.00	283.89	0.1091	11.97	10.60	0.2055E-01	11.24	11.86
10	1500.00	273.81	0.6460E-01	9.393	7.474	0.1534E-01	8.532	9.328
11	1800.00	268.25	-.6306E-02	7.516	5.129	0.8707E-02	6.658	7.522
12	2400.00	261.33	0.3154E-01	5.282	2.930	0.7171E-02	4.555	5.250
13 Hot	90.00	305.77	0.5300	-12.12	-12.48	0.3233E-01	12.83	13.01
14	120.00	328.31	0.7672	-17.81	-17.91	0.3276E-01	18.63	18.67
15	150.00	351.41	0.5279	-23.22	-23.13	0.2149E-01	23.70	23.75
16	180.00	375.45	0.3855	-27.97	-28.11	0.5223E-02	28.42	28.49
17	210.00	394.36	0.5258	-30.38	-30.27	0.4729E-02	30.85	30.91
18	240.00	412.87	0.5640	-32.49	-31.97	0.4583E-02	32.80	33.05
19	300.00	442.02	0.5970	-33.01	-32.09	-.5484E-02	33.15	33.60
20	600.00	533.15	0.3750	-24.68	-22.27	-.3377E-01	23.94	25.05
21	960.00	572.98	0.4406	-16.57	-11.62	-.1915E-01	15.15	17.01
22	1200.00	588.23	0.1917	-14.42	-8.840	-.1889E-01	12.77	14.61
23	1500.00	599.48	0.1918	-12.75	-6.436	-.8806E-02	11.21	12.94
24	1800.00	605.13	0.1286	-11.21	-4.560	-.3884E-02	9.871	11.34
25	2400.00	613.95	0.1159	-9.845	-3.145	-.2936E-03	8.797	9.961
26	3600.00	616.64	0.9310E-01	-7.333	-.8930	0.4931E-02	6.985	7.426
27	4800.00	617.11	0.1502	-6.735	-.6662	0.4730E-02	6.515	6.885

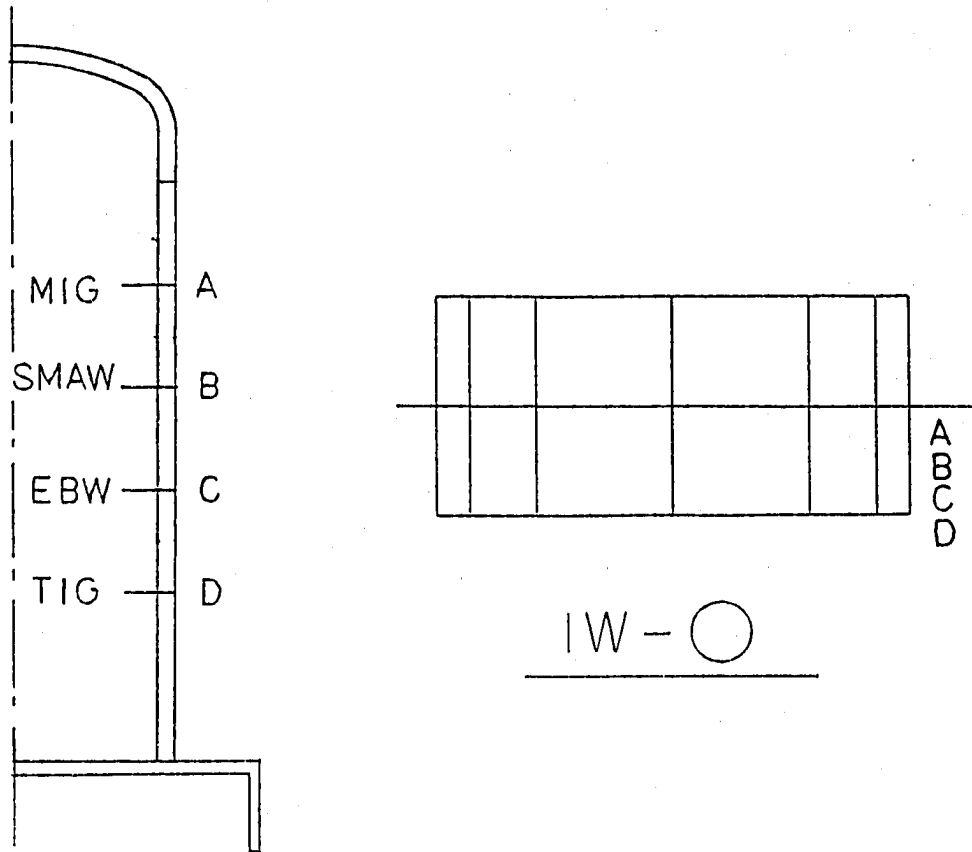


Fig. C.5.1 Stress Classification Lines for Inner Shell Weldment

Table C.5.1 Stress History of Inner Shell Weldment (1/2)

ELEMENT - 6 IP - 6 (1W-A, MIG, D702W)								
STEP	TIME	TEMP	SIG-R	SIG-Z	SIG-TH	SIG-RZ	MIESES	TRESCA
1	Cold 30.00	503.52	0.6210E-01	37.58	37.63	0.6460E-13	37.54	37.57
2	40.00	450.87	0.1466E-01	46.61	46.69	- .2334E-13	46.64	46.68
3	50.00	425.11	-.1990E-01	45.97	46.05	-.3894E-12	46.03	46.07
4	60.00	410.64	-.2968E-01	43.72	43.80	-.3580E-08	43.79	43.83
5	70.00	401.89	-.3394E-01	41.29	41.37	-.2837E-08	41.37	41.40
6	80.00	395.30	-.3809E-01	39.38	39.45	0.2429E-08	39.45	39.49
7	90.00	390.79	-.3532E-01	37.48	37.54	0.2399E-08	37.55	37.58
8	100.00	387.17	-.3424E-01	35.98	36.04	0.2830E-08	36.04	36.07
9	Hot 30.00	371.34	-.8631E-01	-39.45	-39.46	0.1599E-07	39.37	39.38
10	40.00	431.97	-.3149E-01	-50.41	-50.41	0.2298E-07	50.38	50.38
11	50.00	471.25	0.2383E-02	-53.19	-53.18	0.1892E-07	53.19	53.19
12	60.00	492.09	0.2597E-01	-50.62	-50.61	0.3854E-07	50.64	50.65
13	70.00	506.95	0.2987E-01	-47.92	-47.90	0.1648E-06	47.94	47.95
14	80.00	517.73	0.3296E-01	-45.27	-45.25	0.6839E-07	45.29	45.30
15	90.00	526.89	0.3195E-01	-42.86	-42.84	0.6629E-06	42.88	42.89
16	100.00	534.89	0.3084E-01	-40.51	-40.50	0.6786E-06	40.54	40.54

ELEMENT - 6 IP - 6 (1W-B, SMAW, D703W)								
STEP	TIME	TEMP	SIG-R	SIG-Z	SIG-TH	SIG-RZ	MIESES	TRESCA
1	Cold 30.00	507.73	0.6078E-01	36.29	36.34	0.2382E-13	36.25	36.28
2	40.00	461.68	0.8664E-02	43.24	43.32	-.3668E-13	43.27	43.31
3	50.00	437.02	-.3274E-01	43.01	43.09	-.5408E-12	43.08	43.12
4	60.00	422.22	-.4216E-01	41.28	41.35	-.1494E-06	41.36	41.39
5	70.00	412.31	-.4581E-01	39.47	39.54	-.2326E-06	39.55	39.59
6	80.00	405.98	-.4765E-01	37.23	37.29	-.6138E-06	37.31	37.34
7	90.00	401.53	-.4729E-01	35.21	35.27	-.2271E-06	35.28	35.31
8	100.00	393.70	-.3725E-01	35.13	35.19	-.2467E-06	35.20	35.23
9	Hot 30.00	355.30	-.8515E-01	-34.14	-34.15	-.1505E-06	34.06	34.07
10	40.00	412.10	-.6575E-01	-45.42	-45.42	-.1383E-06	45.36	45.36
11	50.00	454.32	-.7206E-01	-50.44	-50.43	0.2802E-06	50.36	50.36
12	60.00	481.16	-.4963E-01	-50.35	-50.34	0.2668E-06	50.30	50.30
13	70.00	500.01	-.4129E-01	-48.87	-48.85	0.3956E-06	48.82	48.82
14	80.00	511.83	-.3422E-01	-46.17	-46.16	0.4428E-06	46.13	46.14
15	90.00	521.87	-.3525E-01	-43.99	-43.98	0.4753E-06	43.95	43.96
16	100.00	529.55	-.3458E-01	-41.54	-41.53	0.1416E-05	41.50	41.51

Table C.5.2 Stress History of Inner Shell Weldment (2/2)

ELEMENT - 6 IP - 6 (IW-C, EBW, D704W)

STEP	TIME	TEMP	SIG-R	SIG-Z	SIG-TH	SIG-RZ	MIESES	TRESCA
1 Cold	30.00	525.59	0.5090E-01	30.36	30.40	0.4905E-13	30.33	30.35
2	40.00	481.08	0.1420E-01	38.05	38.11	-.1479E-06	38.06	38.09
3	50.00	454.41	-.9270E-02	39.27	39.34	-.3530E-06	39.31	39.34
4	60.00	435.67	-.1809E-01	39.23	39.30	-.2686E-06	39.29	39.32
5	70.00	421.68	-.2271E-01	38.42	38.49	-.3134E-07	38.48	38.51
6	80.00	411.03	-.2530E-01	37.21	37.28	0.3847E-07	37.27	37.30
7	90.00	403.38	-.2724E-01	35.77	35.83	0.1828E-06	35.82	35.85
8	100.00	396.27	-.3018E-01	34.75	34.81	0.5363E-06	34.81	34.84
9 Hot	30.00	346.26	-.9603E-01	-32.60	-32.61	0.9021E-06	32.51	32.51
10	40.00	404.91	-.4309E-02	-44.23	-44.23	0.2123E-06	44.22	44.23
11	50.00	448.36	0.1937E-01	-49.43	-49.43	0.7057E-07	49.45	49.45
12	60.00	472.71	0.4701E-01	-48.48	-48.47	0.5424E-06	48.52	48.53
13	70.00	491.85	0.5079E-01	-47.56	-47.55	0.4293E-06	47.61	47.61
14	80.00	506.70	0.5570E-01	-46.14	-46.13	0.5321E-06	46.19	46.20
15	90.00	518.19	0.5817E-01	-44.36	-44.34	0.3686E-06	44.41	44.42
16	100.00	526.78	0.5963E-01	-42.31	-42.30	0.6038E-06	42.37	42.37

ELEMENT - 6 IP - 6 (IW-D, TIG, D705W)

STEP	TIME	TEMP	SIG-R	SIG-Z	SIG-TH	SIG-RZ	MIESES	TRESCA
1 Cold	30.00	542.57	0.3296E-01	21.17	21.19	0.1515E-10	21.15	21.16
2	40.00	510.48	0.1607E-01	26.63	26.67	0.1897E-09	26.63	26.65
3	50.00	480.55	0.9174E-02	31.09	31.14	-.5296E-11	31.11	31.13
4	60.00	457.96	-.2726E-02	32.75	32.80	0.1833E-08	32.78	32.80
5	70.00	441.87	-.1806E-01	32.54	32.59	0.1423E-09	32.58	32.61
6	80.00	430.66	-.2229E-01	31.16	31.21	-.1223E-07	31.20	31.23
7	90.00	421.59	-.2296E-01	30.03	30.07	-.9746E-08	30.07	30.10
8	100.00	414.57	-.2419E-01	28.89	28.94	-.1315E-07	28.94	28.96
9 Hot	30.00	330.61	-.7743E-01	-27.64	-27.65	-.9744E-08	27.56	27.57
10	40.00	388.27	-.4621E-01	-41.29	-41.30	-.1082E-07	41.25	41.25
11	50.00	426.28	-.1215E-01	-45.72	-45.72	-.2859E-07	45.71	45.71
12	60.00	455.54	-.2190E-01	-47.78	-47.78	0.3130E-08	47.76	47.76
13	70.00	476.18	-.9473E-02	-47.45	-47.44	-.4400E-09	47.43	47.44
14	80.00	492.93	-.5486E-02	-46.89	-46.88	-.1754E-07	46.88	46.88
15	90.00	504.94	-.2305E-03	-45.42	-45.41	-.1737E-07	45.42	45.42
16	100.00	515.30	0.3060E-04	-44.10	-44.09	-.8651E-08	44.10	44.10

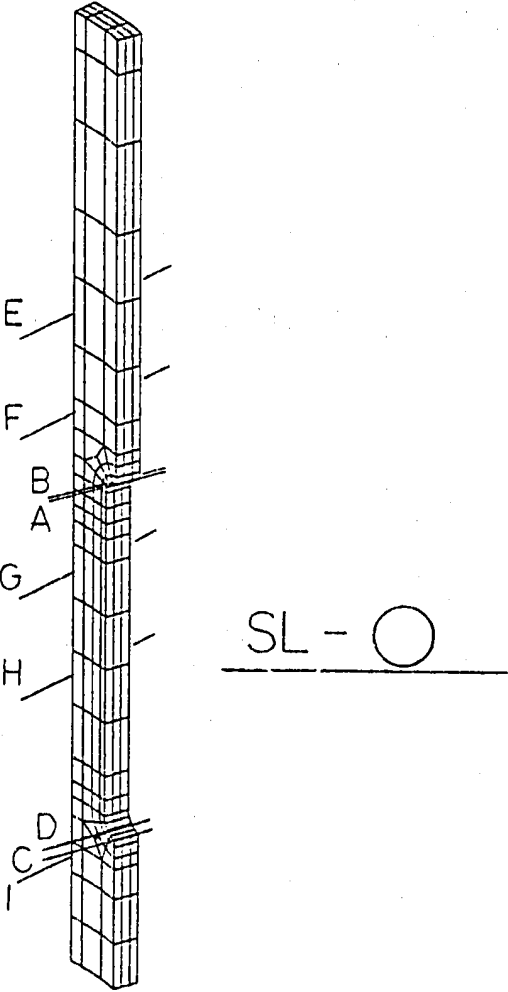


Fig. C.6.1 Classification Lines for Slitted Cylidner

Table C.6.1 Stress History of Slitted Cylinder (1/3)

IP-7

(SL-A)

ELM-4202 IP-7

STEP	TIME	MISES							TEMP
		EQUIV.	SIG-X	SIG-Y	SIG-Z	TAU-XY	TAU-YZ	TAU-ZX	
1	COLD 50.000	27.014	1.408	29.134	3.008	-0.077	0.340	-0.904	573.165
2	COLD 60.000	34.506	1.475	36.893	3.491	-0.109	0.439	-0.994	558.561
3	COLD 80.000	45.141	1.386	47.719	3.977	-0.177	0.579	-1.025	530.295
4	COLD 100.000	47.796	0.993	50.066	3.742	-0.220	0.616	-0.890	507.564
5	COLD 120.000	44.387	0.671	46.286	3.306	-0.221	0.570	-0.721	491.326
6	COLD 150.000	41.054	0.813	42.990	3.230	-0.212	0.512	-0.764	465.476
7	COLD 210.000	34.254	0.336	35.595	2.490	-0.180	0.414	-0.527	421.727
8	HOT 50.000	55.470	-4.625	-61.236	-7.473	0.161	-0.599	2.835	371.115
9	HOT 60.000	73.222	-5.210	-79.992	-8.929	0.278	-0.843	3.216	426.949
10	HOT 80.000	80.716	-2.705	-85.416	-7.051	0.380	-1.006	1.915	476.554
11	HOT 100.000	81.417	-2.154	-85.554	-6.416	0.424	-1.042	1.487	511.037
12	HOT 120.000	76.317	-0.947	-79.238	-5.149	0.414	-1.004	0.909	528.731
13	HOT 150.000	66.662	-1.010	-69.333	-4.540	0.372	-0.889	0.746	544.269
14	HOT 210.000	53.293	-0.585	-55.198	-3.383	0.313	-0.731	0.482	567.314

(SL-B)

ELM-4192 IP-1

STEP	TIME	MISES							TEMP
		EQUIV.	SIG-X	SIG-Y	SIG-Z	TAU-XY	TAU-YZ	TAU-ZX	
1	COLD 50.000	26.324	1.370	28.152	2.825	-1.212	1.246	-1.076	569.901
2	COLD 60.000	33.051	1.409	35.027	3.225	-1.554	1.690	-1.179	554.761
3	COLD 80.000	41.977	1.145	43.867	3.487	-1.951	2.302	-1.173	527.037
4	COLD 100.000	43.756	0.771	45.348	3.275	-2.007	2.421	-1.025	505.014
5	COLD 120.000	40.587	0.448	41.880	2.894	-1.811	2.166	-0.847	489.249
6	COLD 150.000	38.130	0.674	39.620	2.931	-1.604	1.804	-0.912	463.434
7	COLD 210.000	33.129	0.240	34.176	2.289	-1.297	1.256	-0.682	419.479
8	HOT 50.000	57.108	-4.578	-62.486	-7.137	2.008	-1.436	3.230	376.124
9	HOT 60.000	72.864	-5.000	-78.966	-8.370	2.641	-2.293	3.626	430.521
10	HOT 80.000	78.443	-2.228	-82.170	-6.308	3.114	-3.053	2.236	478.327
11	HOT 100.000	77.676	-1.617	-80.715	-5.616	3.276	-3.456	1.753	512.069
12	HOT 120.000	72.400	-0.350	-74.187	-4.311	3.116	-3.363	1.106	528.812
13	HOT 150.000	63.682	-0.465	-65.304	-3.765	2.836	-3.045	0.913	544.322
14	HOT 210.000	51.218	-0.067	-52.158	-2.689	2.429	-2.636	0.596	567.438

(SL-C)

ELM-4032 IP-1

STEP	TIME	MISES							TEMP
		EQUIV.	SIG-X	SIG-Y	SIG-Z	TAU-XY	TAU-YZ	TAU-ZX	
1	COLD 50.000	42.227	2.677	45.890	4.983	0.174	-0.499	-1.752	509.172
2	COLD 60.000	44.254	2.198	47.653	4.912	0.184	-0.539	-1.556	485.154
3	COLD 80.000	38.771	0.806	40.752	3.388	0.154	-0.504	-1.023	459.247
4	COLD 100.000	31.223	0.983	33.131	3.015	0.121	-0.406	-0.827	441.390
5	COLD 120.000	28.763	0.973	30.531	2.749	0.108	-0.373	-0.912	419.255
6	COLD 150.000	23.174	0.414	24.298	1.957	0.089	-0.308	-0.498	399.834
7	COLD 210.000	19.101	0.004	19.698	1.281	0.081	-0.266	-0.283	363.300
8	HOT 50.000	42.545	-2.882	-46.215	-4.783	-0.205	0.511	1.838	350.111
9	HOT 60.000	54.121	-3.029	-58.227	-5.511	-0.282	0.674	1.962	382.841
10	HOT 80.000	60.168	-1.757	-63.376	-4.922	-0.345	0.792	1.416	422.672
11	HOT 100.000	60.566	-1.290	-63.345	-4.494	-0.363	0.812	1.094	449.839
12	HOT 120.000	61.441	-0.896	-63.896	-4.227	-0.364	0.821	0.887	470.428
13	HOT 150.000	59.156	-0.818	-61.479	-4.025	-0.352	0.786	0.748	494.199
14	HOT 210.000	51.120	-0.476	-52.903	-3.253	-0.322	0.684	0.513	532.376

Table C.6.2 Stress History of Slitted Cylinder (2/3)

(SL-D)

ELM-4042 IP-7

STEP	TIME	MISES EQUIV.	SIG-X	SIG-Y	SIG-Z	TAU-XY	TAU-YZ	TAU-ZX	TEMP
1	COLD 50.000	40.440	2.600	43.779	4.691	1.334	-1.205	-1.976	508.954
2	COLD 60.000	42.183	2.141	45.271	4.656	1.435	-1.351	-1.804	485.102
3	COLD 80.000	37.197	0.819	38.981	3.274	1.342	-1.254	-1.260	458.999
4	COLD 100.000	30.248	0.985	31.997	2.940	1.114	-1.030	-1.021	441.149
5	COLD 120.000	28.025	0.997	29.673	2.699	1.007	-0.893	-1.094	419.054
6	COLD 150.000	22.649	0.399	23.646	1.900	0.853	-0.774	-0.640	399.710
7	COLD 210.000	18.381	-0.030	18.824	1.205	0.779	-0.789	-0.384	363.221
8	HOT 50.000	41.125	-2.806	-44.439	-4.530	-1.567	1.481	2.066	351.066
9	HOT 60.000	51.684	-2.894	-55.265	-5.158	-2.108	2.147	2.222	383.879
10	HOT 80.000	57.208	-1.557	-59.765	-4.508	-2.483	2.625	1.670	423.607
11	HOT 100.000	57.366	-1.053	-59.430	-4.053	-2.594	2.805	1.327	450.761
12	HOT 120.000	58.314	-0.623	-60.015	-3.734	-2.626	2.814	1.107	471.526
13	HOT 150.000	56.159	-0.485	-57.691	-3.473	-2.516	2.691	0.932	495.152
14	HOT 210.000	48.235	-0.138	-49.264	-2.717	-2.204	2.410	0.650	533.010

(SL-E)

ELM-4233 IP-6

STEP	TIME	MISES EQUIV.	SIG-X	SIG-Y	SIG-Z	TAU-XY	TAU-YZ	TAU-ZX	TEMP
1	COLD 50.000	0.796	0.657	1.552	1.282	-0.007	0.000	0.001	614.811
2	COLD 60.000	2.090	0.806	3.038	2.716	-0.016	0.000	0.001	610.577
3	COLD 80.000	6.463	1.653	8.261	7.961	-0.047	0.001	0.002	595.634
4	COLD 100.000	11.301	1.987	13.375	13.198	-0.065	0.001	0.002	576.997
5	COLD 120.000	15.166	2.333	17.510	17.487	-0.062	0.001	0.002	557.165
6	COLD 150.000	18.393	2.275	20.680	20.655	-0.073	0.001	0.002	530.317
7	COLD 210.000	20.892	2.062	23.052	22.853	-0.070	0.001	0.001	482.792
8	HOT 50.000	17.787	-7.394	-25.302	-25.055	0.093	0.000	-0.002	327.619
9	HOT 60.000	32.447	-9.347	-41.696	-41.891	0.034	-0.001	-0.003	375.089
10	HOT 80.000	47.430	-7.865	-55.093	-55.495	0.000	-0.002	-0.003	440.128
11	HOT 100.000	48.515	-5.614	-53.995	-54.261	0.034	-0.003	-0.002	477.412
12	HOT 120.000	44.602	-4.351	-48.802	-49.103	0.023	-0.003	-0.002	503.744
13	HOT 150.000	36.123	-2.817	-38.758	-39.118	0.013	-0.002	-0.002	525.654
14	HOT 210.000	27.146	-1.326	-28.326	-28.615	0.009	-0.002	-0.001	558.325

(SL-F)

ELM-4213 IP-6

STEP	TIME	MISES EQUIV.	SIG-X	SIG-Y	SIG-Z	TAU-XY	TAU-YZ	TAU-ZX	TEMP
1	COLD 50.000	8.797	2.014	10.851	10.770	-0.036	0.035	-0.002	590.521
2	COLD 60.000	11.865	2.268	14.014	14.248	-0.041	0.048	-0.003	579.321
3	COLD 80.000	18.445	2.773	20.611	21.769	-0.040	0.070	-0.006	553.556
4	COLD 100.000	22.946	2.579	24.397	26.507	-0.041	0.078	-0.007	530.141
5	COLD 120.000	24.081	2.275	24.997	27.516	-0.034	0.074	-0.007	512.313
6	COLD 150.000	24.896	2.533	26.198	28.501	-0.026	0.068	-0.006	485.159
7	COLD 210.000	22.958	1.985	24.300	25.535	0.003	0.061	-0.005	439.591
8	HOT 50.000	31.231	-8.847	-40.635	-39.488	-0.037	-0.073	0.003	363.525
9	HOT 60.000	44.257	-10.453	-55.021	-54.391	-0.022	-0.111	0.008	413.839
10	HOT 80.000	52.176	-7.132	-59.059	-59.553	-0.043	-0.156	0.013	467.950
11	HOT 100.000	52.798	-5.547	-57.424	-59.219	-0.021	-0.173	0.016	504.162
12	HOT 120.000	48.719	-3.398	-51.242	-52.946	-0.027	-0.170	0.017	524.283
13	HOT 150.000	40.556	-2.534	-42.718	-43.449	-0.026	-0.162	0.017	541.671
14	HOT 210.000	30.740	-1.231	-31.919	-32.022	-0.019	-0.151	0.015	567.119

Table C.6.3 Stress History of Slitted Cylinder (3/3)

(SL-G)

ELM-4125 IP-6

STEP	TIME	MISES EQUIV.	SIG-X	SIG-Y	SIG-Z	TAU-XY	TAU-YZ	TAU-ZX	TEMP
1	COLD 50.000	18.823	4.464	26.183	16.041	-0.031	0.031	0.025	533.418
2	COLD 60.000	21.611	4.222	29.161	17.426	0.004	0.003	0.034	514.379
3	COLD 80.000	23.321	3.136	30.064	16.447	-0.012	-0.034	0.044	489.363
4	COLD 100.000	22.972	2.940	29.465	16.051	-0.012	-0.044	0.048	470.625
5	COLD 120.000	21.802	2.667	27.838	15.623	-0.026	-0.035	0.047	453.951
6	COLD 150.000	19.615	2.483	25.131	13.986	-0.008	-0.026	0.043	431.615
7	COLD 210.000	16.467	1.495	20.488	10.196	-0.007	-0.018	0.035	391.776
8	HOT 50.000	34.155	-8.246	-47.529	-30.905	-0.107	0.025	-0.059	409.095
9	HOT 60.000	39.467	-7.736	-53.299	-31.344	-0.092	0.031	-0.067	440.499
10	HOT 80.000	42.077	-5.501	-53.983	-27.010	-0.089	0.041	-0.085	477.558
11	HOT 100.000	41.569	-4.429	-52.132	-23.663	-0.075	0.038	-0.094	504.041
12	HOT 120.000	38.862	-3.097	-47.380	-18.954	-0.042	0.017	-0.094	521.550
13	HOT 150.000	34.316	-2.289	-40.821	-13.553	-0.062	0.009	-0.086	538.567
14	HOT 210.000	28.390	-1.223	-32.555	-8.539	-0.079	0.017	-0.068	562.566

(SL-H)

ELM-4105 IP-6

STEP	TIME	MISES EQUIV.	SIG-X	SIG-Y	SIG-Z	TAU-XY	TAU-YZ	TAU-ZX	TEMP
1	COLD 50.000	23.223	5.760	32.396	21.758	0.007	-0.011	0.027	507.567
2	COLD 60.000	25.524	4.510	33.788	22.081	0.002	-0.023	0.018	490.794
3	COLD 80.000	26.978	4.975	35.871	23.864	-0.013	-0.044	0.007	457.984
4	COLD 100.000	24.228	3.599	31.338	20.619	-0.021	-0.052	0.005	438.773
5	COLD 120.000	22.304	3.940	29.444	19.786	-0.027	-0.046	0.006	418.153
6	COLD 150.000	18.306	2.238	23.286	14.452	-0.016	-0.040	0.004	399.783
7	COLD 210.000	14.846	1.510	18.651	10.276	-0.019	-0.030	-0.001	363.860
8	HOT 50.000	30.118	-7.568	-42.323	-26.020	-0.043	0.048	-0.012	379.523
9	HOT 60.000	36.747	-7.813	-50.244	-28.873	-0.010	0.047	-0.012	413.443
10	HOT 80.000	39.302	-5.011	-50.249	-24.490	0.020	0.052	-0.016	448.444
11	HOT 100.000	38.751	-4.183	-48.580	-21.553	0.034	0.049	-0.026	475.295
12	HOT 120.000	37.829	-4.320	-47.512	-20.275	0.029	0.045	-0.038	502.967
13	HOT 150.000	34.042	-2.179	-40.502	-13.769	0.015	0.043	-0.036	522.844
14	HOT 210.000	28.590	-1.401	-32.951	-8.759	0.008	0.035	-0.017	550.041

(SL-I)

ELM-4023 IP-6

STEP	TIME	MISES EQUIV.	SIG-X	SIG-Y	SIG-Z	TAU-XY	TAU-YZ	TAU-ZX	TEMP
1	COLD 50.000	28.305	6.175	33.394	35.452	-0.064	-0.045	-0.005	508.321
2	COLD 60.000	30.977	5.271	34.964	37.390	-0.065	-0.047	-0.005	485.290
3	COLD 80.000	28.112	3.819	30.683	33.032	-0.055	-0.041	-0.006	459.292
4	COLD 100.000	22.994	3.180	25.204	27.035	-0.038	-0.030	-0.005	442.305
5	COLD 120.000	21.426	3.683	24.245	25.881	-0.031	-0.026	-0.005	419.428
6	COLD 150.000	16.765	1.973	17.985	19.402	-0.027	-0.024	-0.005	400.465
7	COLD 210.000	12.909	1.052	13.199	14.606	-0.020	-0.027	-0.004	363.235
8	HOT 50.000	29.308	-6.780	-33.761	-37.962	0.069	0.077	0.006	352.645
9	HOT 60.000	37.847	-7.345	-41.562	-47.995	0.091	0.109	0.009	385.951
10	HOT 80.000	43.683	-5.371	-44.032	-52.757	0.119	0.138	0.012	425.959
11	HOT 100.000	44.035	-4.182	-42.652	-52.210	0.128	0.149	0.014	452.837
12	HOT 120.000	42.954	-3.342	-40.837	-50.205	0.138	0.150	0.015	473.306
13	HOT 150.000	39.882	-2.753	-37.447	-46.324	0.139	0.145	0.015	496.964
14	HOT 210.000	34.288	-1.730	-31.132	-39.391	0.128	0.134	0.013	534.916