(昭和 35 年 11 月造船協会秋季講演会において講演)

厚鋼板の隅肉溶接における微小欠陥の発生機構

およびそれに対する施行法の研究 (第1報)

正員 木 原 博*

正員 松 永 和 介**

A Study on Relations between the Micro Crack Initiation and the Welding
Procedure in a Fillet Joint of Thick Steel Plates (Report No.1)

By Hiroshi Kihara, *Member*
Wasuke Matsunaga, *Member*

Summary

In construction of hulls, the most of weld crackings are originated in fillet joints, and also many toe crackings which are remained almost unknown on their initiating process, are frequently included in them.

In this respect, author has studied on the cause and effect of the toe crack initiation in a full penetrated T type fillet joint of thick plates and obtained the conclusions as follows:—

1. The cracking of this kind was prevailing on the toe of the backingpass-side weld and originated from the notch root suffered large weld strain by the thermal and strain cycles in the finishing-pass-side welding.
2. In these thermal and strain cycles, above 90% of the strain were proceeded below 550°C and the strain cycles worked mostly as contraction on the notch root.
3. In the case of the sum of the absolute value of the weld strain on the notch root exceeding 12%, the toe cracking initiated in further straining.

On this critical value of the strain, same results are obtained as retained ductility of the mechanical prestrained specimen in bending.

4. As factors increasing the weld strain, there were the depth of back-chipping, the larger diameter of welding electrode and the sharpness of the notch root. On this account, for the prevention of the cracking, the welding should be carried out in controlled conditions on these factors.

1. 緒 言

構造物の大型化および性能向上につれて板厚の増加, 高張力鋼の使用などが最近普遍化しつつあるが, この場合工作性の点からは溶接施工中の亀裂防止策を確立することが急務と考えられる。さて溶接施工中に発生せる溶接亀裂の発生頻度を示す1例として船体建造途上におけるものを Table 1 に示すがこれによるとT型隅肉溶接における亀裂の発生が全体の 90% 強を示し, このうちには母材の趾端割れに属する物が多数含まれている。この趾端割れについては, その発生機構において不明の要素が少なく Fig.1 に示すように比較的拘束の少い初層溶接趾端部に亀裂発生例を見ている。一方亀裂発生時期については試験片的に調べたものとして, Fig.2 に示す実験においては, 初層側溶接完了後裏側の溶接によつて初層側溶接趾端部に亀裂を発生し, この際趾端部の切欠が大きな役割をしめていることが認められる。本実験では以上の趾端割れの発生機構に立入つて, これを明

原稿受付 昭和 35 年 6 月 20 日

* 東京大学工学部

** 川崎重工業KK 造船工作部

らかにし、ひいては防止策を確立するため、溶込み型隅肉溶接を種々の溶接条件で行ない、亀裂発生との相関について研究を行なつた。その結果、この種の亀裂発生の機構においては溶接歪の果す役割が一つの重要な因子で有ることが判明したのでこれについて御報告する。

2. 予 備 試 験

初層側趾端部亀裂に関係すると見られる各要素についての調査として、以下に示すような予備試験を行ない、亀裂再現試験の計画に供した。なお予備試験に使用した鋼材は、亀裂再現試験と同じく Table 2 に示すような Mn-Si 系 HT 52 高張力鋼である。

2-1 溶接熱サイクルおよび溶接歪サイクルの計測

溶し込み型隅肉溶接継手の裏側溶接時における初層側溶接趾端部の熱歪履歴は重要な要因と考えられるのでこれについて、計測を行なつた。計測方法は Fig. 3 に示す試験片を用い、溶接熱サイクルは直径 0.3mm のアルメルクロメル熱電対線と電磁オシログラフを用いて計測した。また歪サイクルは電気抵抗線歪計を Fig. 3 に示すように間接的に取付け温度上昇を防止するために、取付治具を水冷し、また歪量は平板に歪計を取付け平板の曲げ試験における弾性表面歪を計測することによつて較正した。熱サイクルの計測結果を Fig. 4 に示す。これによると熱サイクルの最高温度は約 500°C 以下であり、また歪温度の上昇は、最高温度にはあまり影響せず、低温度域での冷却速度を減少している。熱歪サイクルによつて、歪時効効果による脆化の可能性を温度および保持時間の観点より検討するために、Fig. 4 より保持時間を取り出したのが Fig. 5 である。すなわち Fig. 5

TABLE 1. NUMBER OF CRACKS IN THE CONSTRUCTION OF ONE 45000 DWT OIL AND ORE CARRIER AS DIVIDED IN CONSTRUCTIONS AND PLATE THICKNESSES

TYPE OF JOINT	MAIN MEMBER	ATTACHED MEMBER	PLATE THICKNESS OF MAIN MEMBER (MM)			
			t < 13	13 ≤ t ≤ 25	25 ≤ t ≤ 38	38 < t
BUTT JOINT	—	—	1	4	0	0
T. TYPE FILLET JOINT	UPPER DECK	DECK STAND	0	0	0	9
	OTHERS		1	0	1	1
	UPPER DECK	T. BULKHEAD	0	0	2	4
		DEEP · LONG L	1	1	0	9
		WEB	0	0	0	13
		T. GIRDER	0	0	0	1
		OTHERS	0	0	4	2
	SHEAR STRAKE	T. BULKHEAD	0	0	1	2
		OTHERS	0	0	1	1
	SIDE SHELL	T. GIRDER	0	2	2	0
		H. GIRDER	0	4	1	0
		FRAME	0	2	0	0
	BILGE SHELL	COLLAR PLATE	0	0	2	0
	BOTTOM SHELL	BRACKET	0	0	2	0
	L. BULKHEAD	T. BULKHEAD	0	3	0	0
		T. GIRDER	1	6	0	0
		H. GIRDER	0	2	0	0
		OTHERS	1	3	0	0
	T. BULKHEAD	H. GIRDER	7	1	0	0
		OTHERS	4	3	0	0
	THROUGH BRACKET	D.T. FLOOR T. BULKHEAD	0	67	0	0
	THROUGH PIPE	SIDE SHELL	0	4	0	0
FLOOR	L. GIRDER	0	8	0	0	
OTHERS			13	9	4	0
TOTAL			28	121	20	42

NOTE: DEFINITION OF MAIN MEMBER

は 時効に有効な温度の最小値を 100, 150, 200°C に仮定し, それぞれの温度以上に保持される時間を, 各層毎に集積したものを, 溶接層数に対応して記した。これによると溶接層数を重ねて行けば温度の観点からは, 十分時効効果の可能性があるといえよう。次に同時に計測された歪サイクルの計測値の例を Fig. 6 に示す。これによると歪の全体としての傾向は圧縮歪であり, また絶対値としては G. L 4mm で数 % に収斂している。同図より層間の歪量および冷却後の歪量を取つたのが Fig. 7 である。以上熱歪サイクルの計測より, 亀裂発生要因としての温度歪関係としては, 比較的低温における塑性変形にともなう加工硬化, 歪時効, 青熱脆性等, の要因が支配的であること, また歪量としては, G. L=4mm では数 % の量であつたがさらに微小部分については歪が亀裂の直接的要因であり得る程度に大きいことが予想された。

2-2 溶接趾端部の高温延性と熱歪サイクルの重量効果に関する試験

溶接趾端部のごとき熱影響部に欠けがある場合には, かなりの延性の低下が考えられ, また前項で計測された熱サイクル温度範囲での温度と延性との関係および溶接熱歪サイクルの重量による熱塑性疲労による脆化の現象

Fig.1 Some Examples of the Toe Crack in Actual Constructions

TABLE 2. MECHANICAL PROPERTIES AND CHEMICAL COMPOSITIONS OF TESTED STEELS

PLATE THICKNESS (MM)	YIELD STRENGTH (KG/MM ²)	TENSILE STRENGTH (KG/MM ²)	ELONGATION G.L. = 200 (%)	0°C V-CHARPY ABSORBED ENERGY (KG-M/CM ²)	CHEMICAL COMPOSITIONS (% LADLE)								NOTE
					C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	
20	40	54	28	13.6	0.14	0.42	1.27	0.014	0.016	0.17	0.06	0.04	MAIN PLATE
25	40	54	30	16.0									ABUTTING PLATE
30	36	53	27	7.3									ABUTTING PLATE (PRELIMINARY TEST)

TESTED MATERIALS

PLATE THICKNESS (MM)	CHEMICAL COMPOSITIONS (LADLE %)								MECHANICAL PROPERTIES				
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	YIELD STRENGTH	TENSILE STRENGTH	ELONGATION	BENDING TEST	V-CHARPY
21	0.14	0.36	1.03	0.015	0.016	0.14	0.04	0.03	35 $\frac{KG}{MM^2}$	51 $\frac{KG}{MM^2}$	32% (200)	1.5P	8.1 $\frac{KG-CM}{CM^2}$
32	0.15	0.23	0.73	0.016	0.032	0.23	—	—	28	45	32	—	5.2

WELDING CONDITION OF TEST WELDING

POSITION	WELDING PASSES	PREHEATING (°C)	ELECTRODE	WELDING CURRENT	ARC VOLTAGE	WELDING SPEED
UNDER HAND	1, 2	50 ~ 100	E 7016 4MM ⁹	160 ± 10 A	25 ± 1 V	100 ± 20 $\frac{MM}{MIN}$
	INTERMEDIATE		" 5 "	210 ± 10	23 ± 1	
	FINISH		" 4 "	150 ± 10	22 ± 1	120 ± 20

A-TYPE JOINT

B-TYPE JOINT

DEPOSITING SEQUENCE

INSPECTED OCCASION	RESULTS OF DYE PENETRANT INSPECTIONS FOR TEST WELD			
	NO. 1 SPECIMEN		NO. 2 SPECIMEN	
FINISH OF BACKING PASS SIDE WELDING #	A-TYPE JOINT	B-TYPE JOINT	A-TYPE JOINT	B-TYPE JOINT
	21 H.T. CRACK LENGTH 20 %	WELD METAL 32 M.S. 0 %	0 %	0 %
FINISH OF WELDING	21 H.T. CRACK LENGTH 36 %	0 %	23 %	0 %

* THE SAME RESULTS ARE OBTAINED AT THE FINISH OF BACK CHIPPING.

VICKERS 10KG HARDNESS TEST RESULTS

Fig.2 An Example of the Toe Crack Test Results

Fig. 4 Weld-Thermal Cycles for Every Welding Pass on the Notch Root of the Toe of the Backing Pass Side at the Finishing-Pass-Side Welding

Fig. 3 Method of Measuring the Temperature and Strain on the Toe of the Backing Pass-Side Weld during the Finishing-Pass Side Welding

Fig. 5 The Sum of the Keeping Time on the Temperature over the Assumed Value of Minimum Aging Temperature at the Toe of the Backing Pass-Side during the Finishing-Pass-Side Welding

Fig. 6 Weld-Strain Cycles for Every Welding Pass on the Notch-Root of the Toe of the Backing-Pass-Side at the Finishing Pass-Side Welding

を確かめるためにこの試験を行なった。試験片は Fig. 8 に示すように、溶接接手部より丸棒を採取しボンドに切欠底部が行くように鋭切欠を加工した。これを熱応力再現装置により、温度、荷重条件を設定して実験を行なった。まず Fig. 9 に高温引張試験の結果として、各温度での平均破断応力、伸び、縮りを示す。これによると 250~450°C で延性がかなり低下していることが認められる。Fig. 10 は熱歪サイクルの重畳による破断試験の結果であり、図の上方に示された熱歪サイクルを重畳する場合、破断までのサイクル数を横軸に荷重を縦軸にとつて表わした。これによると、疲労破壊に相当する現象、すなわちサイクル数の増加につれて破断荷重の低下が認められ、溶接の場合に歪の累積による脆化現象の可能性が考えられる。

Fig.7 Relation Between the Welding Strain on the Toe and the Welding Passes of Finishing-Pass Side Welding (Taken out from Fig.6)

Fig.8 The Size of High Temperature Notch Tensile Test Specimen

発生の原因となり得ることが判るが、さらに溶接による歪の計測結果を示せば Fig. 18 に示すように歪の上からも切欠形状 2 の場合に、また溝深さの深いもの程、大きな変形を受けて居ることが認められる。また曲げ試験による溶接後の残留延性についても Fig. 19 に示すように溶接層数と共に、すなわち溶接歪が累積するにつれて、亀裂発生までの抵抗が減少している。なお曲げ試験の結果は常温、250、450°C の 3 温度における実験結果の差

2-3 亀裂再現試験

以上の予備試験の結果、裏側溶接による熱歪サイクルの重疊が初層側溶接趾端部の切欠底部に対する影響は、切欠状況によつて著しく増加し、亀裂を起し得るものと考えられるので Fig. 11 に示すような試験片を用いて亀裂の再現を計った。その結果は溝深さ D が 16、20mm の場合に、Fig. 12 に例示するような亀裂が再現できたので、この種の亀裂には切欠条件の外に溝深さなどの溶接条件いかなが重要な要因であることが判明したので、以下に示すように趾端亀裂におよぼす溶接条件の影響を調査することにした。

3. 亀裂再現試験

3-1 試験方法

Fig. 13 に試験片を示すが試験条件は Table 3 のように、切欠形状、裏溝深さ、予熱温度を変化させ、切欠形状はさきの予備試験における亀裂再現条件の場合に近いものとアンダーカット、オーバーラップ等の溶接による切欠とについて比較を行なうことにした。また溶接歪の状況を調査するために、Fig. 14 に示すように試験片の左右両端の初層側溶接趾端近傍に G. L. 0.5mm の標点を Vickers 硬度計（荷重 5kg）を用いて野書置き、これを溶接前後で計測して、溶接歪を求めた。計測誤差は歪量として $\pm 0.4\%$ ($\pm 2\mu$) である。一方、上記の試験片の亀裂再現試験における溶接歪の重疊効果による脆化の程度を調査するために、再現試験後 Fig. 15 に示すような L 型試験片を採取し、治具を用いて、曲げ試験を行なつた。曲げ試験温度は実際に溶接歪を受ける温度範囲を考慮して、常温、250、450°C の 3 温度で、1 シリーズ 2 本づつ試験し、また曲げ延性判定には Fig. 15 に示すように荷重-伸び曲線における亀裂発生までの歪エネルギーを用いた。

3-2 亀裂再現試験結果

亀裂再現試験において溶接途上に亀裂の発生をみたのは、切欠形状 2（切欠半径 1.0、切欠深さ 2.8）の溝深さ 16mm で予熱なしの場合の 4 層目と溝深さ 20mm の場合の 1 層目とであつた。Fig. 17 に前者の場合（6 層目まで溶接）の亀裂の状況を示す。この結果によれば、深い切欠と深い裏溝廻りが亀裂

Fig. 9 The Result of High Temperature Notch Tensile Test

Fig. 10 Result of Thermal and Strain Cycle Test

異が認められなかったため、Fig.19にはこれを取りまとめて、6本の試験片の平均値を示した。また曲げ試験における亀裂の発生状況の例をFig.20に示す。

4. 考 察

亀裂再現試験の結果によれば、鋭い切欠と深い溝掘りが、亀裂発生の原因となり得るとしたが、これらの原因はいずれも趾端部溶接歪を増加させる要素でもある。したがって、趾端部の溶接歪と趾端部の脆化との間には密接な関係があると考えられるのでこの点について、検討した。溶接歪を横軸に、溶接後の曲げ延性を縦軸に取って示したのが、Fig.21にプロットされた点であり、歪の増加に比例して残留曲げ延性低下の現象が認められる。なお同図では、後に示すように、溶接歪が溶接層数と共に増加する場合、亀裂が発生すると亀裂の開口によって圧縮歪から引張歪へと方向が変わる点を考慮して、溶接中に亀裂の発生を見たものはこれを除外した。さて、Fig.21に見られる歪の増加と脆化との関係が歪以外の因子の影響が少いことは機械的に予歪を加えたものについて、同様の曲げ試験を行ない、予歪量と脆化との関係を調べることによって確かめられた。試験方法としては、さきの曲げ試験と同形状の試験片を用い曲げによって予歪を与え、また、この場合の予歪量は、亀裂再現試験における溶接歪の計測方法(Fig.14)にならって計測した。予歪を与えた温度は20、250、550、650°Cの4温度である。この結果はFig.22のように歪と残留延性との関係が、ほぼ直線関係となり、その傾向は550°Cまで大差がないと認められるのでFig.23のようにとりまとめた。この機械的予歪と脆化との関係を溶接歪の場合に比較するために、Fig.21には機械的予歪の場合を直線によって示したが、溶接歪と機械的歪とがほぼ等価であることが認められる。しかしこの等価性は溶接の場合には溶接歪が起る温度範囲と歪Cycleにおける往復運動によって乱されられると考えられるので、この点について調べることにした。Fig.24は、亀裂再現試験と同形状の試験

Fig. 11 Procedure for a Toe Crack Reproducing Test

Fig. 12 An Example of the Toe Crack Reproducing Test Results

250°Cにおける予歪試験の場合 (Fig.22) に近似した値が得られており、多層盛り最終段階までにはこの影響も一応考慮すべきと考えられる。また Vickers 1kg 硬度試験の結果は熱影響部最高硬度 (Table4) は220~240であり加工硬化によつてもほとんど硬度上昇は見られないが、この硬度は縦ビード曲げ試験では十分な曲げ延性を示す一方、横ビード切欠曲げ試験においては延性が急激に減少する臨界値に近く、初層側溶接による熱影響部の延性いかんは今回の実験で臨界溶接歪量と考えられた 12% という値に影響するものと考えられ、今後の調査を要する問題と思われる。

片を種々の溶接条件で行なつた場合の初層側趾端部の熱サイクル計測値と、角変形および収縮変形の推移について調べた結果であり、これによると角変形および収縮変形の 90% 以上は 550°C 以下の温度で起つており機械的歪との等価性を裏付けている。また各変形 Cycle が 1 Cycle 中での往復運動をほとんど伴わないことは溶接歪がほぼ単純に集積された歪として取あつかえるものと考えられよう。なお熱膨脹による局部変形量の値は次数が1段と低く問題とならないものと考えられる。以上溶接歪による脆化の度合が機械的歪とほぼ等価であることが判つたが、この事実によれば歪量 12% 程度で亀裂の発生を見るわけで溶接歪を管理するためにはさらに溶接条件と歪の程度との関係が明らかにならねばならない。この意味で溶接棒径の影響をも考慮して溶接歪について調査した結果が Fig.25 である。さらに Fig.25 の溶接歪の内、切欠底部に最も近い位置の値を溶接の溶込み位置との相関で示したのが Fig.26 である。Fig.26 によれば切欠1,2、溝深さ 20mm の場合明らかに大径棒の方が歪が大きく早期に亀裂の発生を見ていることが認められる一方、亀裂の発生はいずれも歪量が 12% を越してからであり亀裂の発生と共に圧縮歪から引張歪増加の傾向を示すことが認められる。なお Fig.27 には溶接層数とともに溶着の進捗する状況を示す。実際施工の溶接条件を見出すに当つては溶接歪の累積値が 12% を越さないような溝深さ、棒径を選ぶことが必要と考えられるがこの点については溝深さの浅い場合の到達歪量について、また実際の切欠が切欠3に近い点、これ等の相関性についてさらに調査を要するものと考えられる。以上歪による脆化の機構が説明されるが、さきに予備実験 (Fig.5) でも示したように溶接層数を重ねて行けば、時効が促進される温度範囲に保持される時間の累積値がかなりのものとなるので、この点についての実験として、歪時効、250°C 30 分を行なつた場合の機械的予歪と脆化との関係を示すと Fig.28 のようになり、時効による延性の低下が認められ、ほぼ

WELDING CONDITIONS	
ELECTRODE	E 7016
ELECTRODE DIA (MM)	5
WELDING CURRENT (A)	210 ± 5
ARC VOLTAGE (V)	25 ± 1
WELDING SPEED (MM/MIN)	140 ± 20

Fig. 13 Welding Procedure of the Toe Crack Reproducing Test Specimens

Fig. 14 Method of Welding Strain Measurement

5. 結 論

以上溶し込み型隅肉溶接継手の趾端割れについて調査した所をとりまとめれば次のごとき結論が得られる。

1. この種溶接継手における趾端亀裂の発生時期は初層側溶接完了裏溝堀り後、仕上層側溶接施行時であり、初層側趾端部に現れ亀裂の発生はこの趾端部の切欠底部に当るボンドに近い熱影響硬化部に発生伝播する。

2. 亀裂の原因は仕上層側溶接による熱歪サイクルの重畳が他の切欠、施行条件などの要因によつて拡大され該当部の脆化をもたらす遂に亀裂発生に至らしめるものである。またこの種歪サイクルは主として圧縮歪として現れ、切欠底部の形状を変形させ切欠を一層鋭いものとするが、今回の実験においては溶接による歪量が12%(G.L=0.5mm)に達すると亀裂発生を伴う。

3. 上記の溶接歪を増大させる要素としては趾端部の切欠、深い裏溝堀り、太径棒の使用であり亀裂防止のためには開先形状、施行条件、表面仕上等の適切な選定によつて防止することが考えられるが、歪状態については、さらに詳細な調査を要するものと考えられる。なお以上の外、歪時効についても歪、温度、時間の3要素から十分その影響が考えられ、また予熱後熱による材質の改善、初層側溶接による初期靱性の向上、加工材その他材質の影響、あるいは機械的性質特に伸びとの関係等今後の研究によつて解明されるべき要素は多く、一層の研究を意とし、ここに第一報を結ぶものとする。

後 記

本研究を行なうに当たり、大阪大学寺沢教授、大谷教授、金属材料技術研究所鈴木部長から懇切なる御教示を受けました実験に当つては金属材料技術研究所第6部の方々に種々御援助をいただいたことをここに併記し、感謝の辞とする。

参 考 文 献

1. G. Sachs : Effect of Strain on Fracture, Fracture of Metals ASM 1948.
2. K. Winterton. M. J. Nolan : Factors Affecting Severity of Cruciform Test for Hardened-zone Cracking Welding, Journal Feb 1960.
3. 桜井, 川崎, 北 : 常温以上で加工した軟鋼の低温焼鈍の影響, 材料試験 5 巻 23 号

TABLE 3. TESTING CONDITIONS

SHAPE OF NOTCH	DEPTH OF GROOVE 'D' (MM)	PREHEATING TEMPERATURE (°C)	WELDING PASSES
ARTIFICIAL NOTCH	① $r=0.25$ $d=1.4$		0, 1, 2, 3.
		100	1, 2, 3.
		200	1, 3, 6.
	② $r=1.0$ $d=2.8$		1, 2, 3.
		100	1, 2, 3.
		200	1, 3, 6.
	③ $r=0$ $d=0$		0, 1, 3, 6.
		100	1, 3, 6.
		200	1, 3, 6.
			1, 3, 6.
NATURAL NOTCH	④ UNDERCUT		0, 1, 3, 6.
		200	1, 2, 3.
⑤ OVERLAP	16		0, 1, 2, 3.
		200	1, 2, 3.

- 山田, 柿内 : 軟鋼薄板のひずみ時効, 材料試験 9 巻 78 号
- Feb. C. B. Voldich, D. C. Martin, O. E. Harder : Notched-Bead Slow Bend Tests of Carbon-Manganese Steels, Welding Journal September 1947.

Fig. 16 Bending Test after the Toe Crack Reproducing Test

Fig. 15 Method of Bending Test After the Test Welding and its Specimen

Fig. 17 An Example of the Micro Structure of Weld Crack ($\times 50$)

Fig. 18 Results of Welding Strain Measurement

Fig. 19 Results of Bending Test after Welding and Their Correlation with Welding Passes

Fig. 20 An Example of Bending Diagram

Fig. 21 Relation between the Welding Strain and the Retained Ductility in Bending after the Welding

Fig. 22 The Effect of Mechanical Prestrain on the Retained Ductility of the Toe of a Fillet Weld

Fig. 24-4 Relation between the Thermal and Strain Cycles at the Toe of the Backing Pass-Side Welding in Finishing-Pass-Side Welding

Fig. 25-1 Results of Measuring the Welding Strain

Fig. 25-3 Results of Measuring the Welding Strain

Fig. 25-2 Results of Measuring the Welding Strain

Fig. 27 Depositing Rate of the Fillet Welding

Fig. 25-4 Results of Measuring the Welding Strain

Fig.26 Welding Strain in Various Conditions and their Proceeding in Accordance with Depositing

TABLE 4 RESULTS OF VICKERS HARDNESS TEST LOADED 1KG

TESTING CONDITIONS	MAX HV IN HAZ	MOTHER METAL	WELD METAL
AS WELDED	238. 229		165 ~ 172
ANNEALED	191 195	152 ~ 163	155 ~ 172
1% TENSION+AGING	228	160 ~ 180	159 ~ 183
2.5% TENSION+AGING	218		
5.2% COMPRESSION	239		
8 % COMPRESSION	239		
NEAR FRACTURING SURFACE OF 32 SPECIMENS	204 ~ 282

Fig.28 The Combined Effect of Mechanical Prestrain and Heat Treatment on the Retained Ductility of the Toe of a Fillet Weld