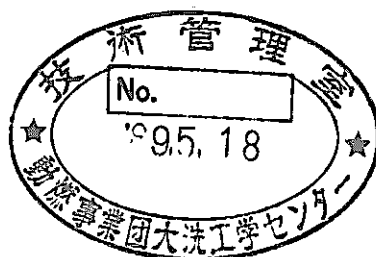


Phenix-P 2 の照射試験(2)

ラッピングワイヤ、ラップ管、パッド材の試験



1989年2月

技術資料コード	
開示区分	レポートNo.
	PNC-TN9410 89-174
この資料は 図書室保存資料です 閲覧には技術資料閲覧票が必要です	
動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センター技術管理室	

動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター
燃料材料開発部

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)

P h e n i x - P 2 の 照 射 試 験 (2)

—ラッピングワイヤ、ラッパ管、パッド材の試験—

両角勝文* 小野瀬庄二* 大原清海*
小形佳昭** 伊藤正彦* 梶原英千世*

要 旨

フランスの高速原型炉フェニックス炉にて、395℃～620℃の温度範囲で、最大 1.3×10^{23} n/cm² (E>0.1MeV) まで照射された「もんじゅ」用ラッピングワイヤ試作材、49年度試作のラッパ管及びパッド材について、外観検査、寸法測定、密度測定、引張試験、金相試験等を実施した。得られた主な結果をまとめると以下の通りである。

- 1) 容体化処理ラッピングワイヤのスエリングは、照射量 1.3×10^{23} n/cm² (E>0.1MeV) で12.7%であり、定常スエリング期にはいつている。また、20%の冷間加工を施されたラッピングワイヤのスエリングは3.4%で、冷間加工はスエリングを抑制することが明らかとなった。
- 2) ラッパ管材のスエリングは、 9.3×10^{22} n/cm² (E>0.1MeV) の照射量にても観られず、スエリングの潜伏期にある。引張強度は照射温度が500℃では、未照射材の強度とほぼ同じであるが、照射温度が600℃では未照射材に比べて低下する。
- 3) クロムカーバイドLC-1C、インコネル718及びステライトNo.6パッド部表面硬化材は、照射によっても母材よりも剥離せず健全な状態を保っていたが、コルモノイNo.6は母材より剥離していた。

* ; 燃料材料開発部 照射材料試験室
** ; 現、東海事業所 再処理工場 処理部 前処理課

目 次

1.	はじめに	1
2.	供試材及び照射条件	2
2.1	供試材	2
2.2	照射条件	2
3.	試験方法	3
3.1	外観検査	3
3.2	外径測定	3
3.3	密度測定及び重量測定	3
3.4	引張試験	3
3.5	金属組織観察	4
3.6	硬さ測定	4
4.	試験結果及び検討	5
4.1	ラッピングワイヤ	5
(1)	外径測定結果	5
(2)	密度測定結果	5
(3)	金属組織観察及び硬さ測定結果	6
4.2	ラッパ管	6
(1)	密度測定結果	6
(2)	引張試験結果	7
(3)	金属組織観察及び硬さ測定結果	7
4.3	パッド部	8
(1)	外観検査結果	8
(2)	重量測定結果	9
(3)	金属組織観察及び硬さ測定結果	9
5.	まとめ	11
	参考文献	13

1. はじめに

高速炉燃料の高性能化、経済性の向上のため炉心材料の開発が進められ、昭和42年以来、高温強度試験等の空気中試験、ナトリウム中試験及び照射試験が実施されてきた。開発の対象材料としては、燃料被覆管、ラッピングワイヤ、ラッパ管、表面硬化材等を上げることができる。これら材料は高速炉の炉心に使用されるため、中性子照射の影響を調べることが重要である。このことから、燃料被覆管同様厳しい中性子照射環境下にさらされるラッパ管については、設計上重要な強度（ここでは引張強度）及びスエリング挙動に注目し、また、ラッピングワイヤについてはスエリング挙動に注目し、中性子照射の影響を調べることを目的として照射試験を実施した。一方、燃料集合体パッド部には耐自己融着、低摩擦の観点から表面硬化材が使用されている。この表面硬化材については候補材料のナトリウム中でのスクリーニング試験によって、C o 基合金のステライト (No. 6)、N i 基合金のコルモノイ (No. 5)、インコネル718及びクロムカーバイド (LC-1C) の4種類が選ばれた。これら4種の表面硬化材の照射特性を調べることを目的として照射試験を実施した。

これらの材料の照射試験はフランスの高速原型炉フェニックス炉を利用して行われた。照射はフェニックス炉の炉心領域で昭和54年1月より開始され、昭和55年1月に終了した。

本報告はフェニックス炉で照射されたラッピングワイヤ、ラッパ管、表面硬化材の照射後試験の結果を取りまとめたものである。

なお、燃料被覆管の照射後試験結果については、既に報告されているので¹⁾、ここでは省いた。

2. 供試材及び照射条件

2.1 供試材

試験に供した素材²⁾は、「常陽」MK-II用ラッピングワイヤ、原型炉「もんじゅ」用ラッパ管及びパッド部表面硬化材の候補材である。ラッピングワイヤは、溶体化処理材、10%及び20%冷間加工材で、住友金属製である。この化学成分をTable 1に示す。46年度試作もんじゅ用ラッパ管は20%冷間加工で、住友金属(S)、新日鉄(N)製である。この化学成分をTable 1に示す。パッド材は、49年度試作もんじゅ用ラッパ管(新日鉄製)の片面に表面処理を施したもので、東芝で加工した。表面処理材料としては、ステライトNo.6照射(MarkC)、コルモノイNo.6溶射(MarkM)、クロムカーバイドD-gun処理(MarkC)、インコネル718(MarkI)の4種とした。この化学成分をTable 1に示す。

2.2 照射条件

Phenix-P2はフランス高速原型炉「フェニックス」の炉心領域(Core19-19)にて、昭和54年1月run15から55年1月run18までの4サイクル(310.3 EFPD、7447h)照射された。なお、1サイクルは75日運転である。Fig. 1にPhenix-P2の照射条件を示す。また、セルQの照射条件は、Fig. 1を外挿した値を使用した。ピーク中性子照射量は、セルHの位置で次の値になる。

$$1.76 \times 10^{23} \text{ n/cm}^2 \text{ (Total)}$$

$$1.35 \times 10^{23} \text{ n/cm}^2 \text{ (E > 0.0675 MeV)}$$

これは、高速中性子照射量にして $1.3 \times 10^{23} \text{ n/cm}^2 \text{ (E > 0.1 MeV)}$ となる。

3. 試験方法

ラッピングワイヤについては、外径測定、密度測定、金属組織観察、硬さ測定、ラッパ管については、引張試験、密度測定、金属組織観察、硬さ測定、パッド部表面硬化材については、外観検査、重量測定、金属組織観察、硬さ測定を実施した。

3.1 外観検査

外観検査は、ペリスコープにより観察し、外観写真を撮影した。

3.2 外径測定

ラッピングワイヤの外径測定は、レーザー外径測定器（測定精度 $\pm 1.5\mu\text{m}$ ）を用いて、試験片の円周方向 45° 毎4点を5mm間隔で測定した。

3.3 密度測定及び重量測定

ラッピングワイヤ、ラッパ管について、密度計を用いて、液浸法により密度測定を行った。測定液は、蒸留水に微量の界面活性剤（エマルゲン-L40）を加えたものを使用した。測定は各試料5回（一部3回）行い、平均値をその試験片の密度として使用した。なお、受入材についても照射材と同一条件で密度を測定した。

パッド部の重量測定は、上皿電子天びんを用いて行った。測定は各試料3回行い、平均値をその試験片の重量とした。なお、受入材については、東海・検査課で実施した重量値（Phenix-P2の試料調製²⁾）を使用した。

3.4 引張試験

引張試験は、容量5トンのインストロン型引張試験機を用いた。標点間距離は44mm及び30mmとし、ポンチにより標点をマークした。引張速度は 0.1 mm/min （ひずみ速度 $3.8 \times 10^{-5}/\text{sec}$ ）とし、試験温度は照射温度とほぼ等しいように、 500°C 及び 600°C とした。

0.2%耐力、引張強さは荷重-伸び曲線から求め、破断伸びは、つき合わせた状態でペリスコープにより撮影した写真から求めた。一様伸びは、次式により求めた値を採用した。

$$\text{一様伸び} = \text{破断伸び} - \frac{\text{チャートから求めた量最大荷重通過後の永久変位量}}{\text{標点距離}}$$

3.5 金属組織観察

ラッピングワイヤ、ラッパ管及びパッド部表面硬化材の径方向断面について、光学顕微鏡による組織観察を行った。エッチングは10%過硫酸アンモニウム溶液による電解腐食とし、写真は100倍400倍で撮影した。

3.6 硬さ測定

ラッピングワイヤ、ラッパ管及びパッド部表面硬化材の径方向断面の硬さを、明石製マイクロビッカース硬さ計を用いて測定した。測定における負荷荷重及び荷重保持時間は、ラッピングワイヤ、ラッパ管についてそれぞれ500g、30秒、パッド部表面硬化材についてはそれぞれ50g、15秒とした。

4. 試験結果及び検討

4.1 ラッピングワイヤ

(1) 外径測定結果

照射リグより取り出したラッピングワイヤ (Fig. 2 参照) 13本のうち7本を選び測定した。3本についての測定プロフィールをFig. 3に示す。試料ZD2HD31及びZD2MD41の場合は比較的バラツキが小さいが、ZD2KD11ではバラツキが大きくなっている。これはラッピングワイヤの曲がりの影響と推定される。このようにして測定した各ラッピングワイヤについての平均外径変化率をTable 2に示す。この場合外径変化率のバラツキはさらに大きなものとなっている。これは、照射前後のラッピングワイヤの対応がとれないこと、Fig. 3に示す様にラッピングワイヤの軸方向に沿って外径変化率に相違が認められることに起因すると考えられる。外径変化率と照射量の関係をFig. 4に示す。溶体化処理ラッピングワイヤのスエリングは既に定常スエリング期に入っていると推定される。また、「常陽」Mk-I燃料集合体に使用されていたラッピングワイヤ (溶体化処理材) のスエリング⁹⁾の延長上にあると推定される。これは、スエリングの抑制に効果のあると言われている微量成分 (P、Ti、Nb等) に大きな相違がないためと考えられる。

一般に冷間加工はスエリングを抑制すると言われているが^{9) 10)}、本結果からも同様な傾向が得られた。照射量の効果を調べたものと冷間加工度の効果を調べたものではリンの含有量が、前者で、0.013%、後者が0.006%と異なるが、外径変化率のバラツキが大きいためリンの効果については確認できなかった。

(2) 密度測定結果

寸法測定を行ったラッピングワイヤ7本の内6本について密度を測定した。測定結果をTable 3に示す。最大のスエリングは試料ZD2HA3 (照射量 $1.3 \times 10^{23} \text{ n/cm}^2$ 、 $E > 0.1 \text{ MeV}$) に生じ12.7%であった。密度測定の結果からもリンの効果について確認は出来なかった。スエリングと冷間加工度の関係をFig. 5に示す。また、同時にRapsodie炉で照射された板材の結果⁷⁾を示すが、同様の傾向が認められる、照射量が低いにも関わらずスエリングが大きくなっているのはリン含有率が0.002%と極めて低いこと、照

射した炉の違いによる損傷率の相違、照射温度の相違等の影響によるものと考えられる。

一方、被覆管の結果⁸⁾と比較してみると、20%冷間加工材ZD2HC2のスエリングは3.4%で、「もんじゅ」試作被覆管(47MK)のスエリング量とほぼ一致する。

この被覆管とほぼ同じ条件で照射されたリンを0.002%含有する被覆管のスエリングははるかに大きく、明らかにリンの効果が観られた。リン添加量をさらに増やすとスエリングに対する潜伏期もさらに大きくなるのが、被覆管のスエリング測定から明らかにされており、リン含有量の高い「常陽」MK-II燃料集合体に使用されているラッピングワイヤのスエリング特性はさらに改善され、耐照射に優れていると推定される。

(3) 金属組織観察及び硬さ測定結果

照射条件の異なる3種のラッピングワイヤについて径方向断面の光学顕微鏡観察を行った。光学顕微鏡組織をFig. 6～Fig. 8に示す。試料ZD2MD4Aでは結晶粒界に炭化物の析出が観られた。これに対して、試料ZD2KD2A、ZD2HD3Aでは、観察面一面に析出物が観られるとともに再結晶が起きている。SUS316鋼の熱時効後の組織観察の結果¹¹⁾では、約650℃において10000時間以上で析出する σ 相の析出は観られない。従って照射温度は、試料ZD2MD4Aでは550℃以上で、試料ZD2KD2A及びZD2HD3Aでは600～650℃の間であったと推定される。

さらに、照射温度を推定するため、光学顕微鏡組織観察を行った試料について、硬さ測定を行った。この結果をTable 4に示す。硬さは試料ZD2MD4Aの場合Hv208であるが、他の2試料はいずれもHv200以下である。7000時間の熱時効を与えた試料の硬さは550℃でHv220～240、600℃でHv200～240である。従って、硬さからも組織観察から推定した照射温度の正しいことがうらづけされた。

4.2 ラッパ管

(1) 密度測定結果

密度測定結果をTable 6に示す。またFig. 9に密度測定値と照射量の関係を「常陽」MK-I燃料集合体のラッパ管試験結果及び非照射材の結果を合わせて示した。本密度測定値は、非照射材に比べて増加の傾向が観られた。これらは、ラッパ管のデンシフィケーションによるものと推定される。このような照射初期のデンシフィケーションにつ

いては、EBR-IIで照射された20%冷間加工SUS316鋼についても認められている。

本ラップ管の密度はMK-Iのラップ管とほぼ同じ値⁴⁾であった。これらの結果から少なくとも照射量 $1 \times 10^{23} \text{ n/cm}^2$ ($E > 0.1 \text{ MeV}$)まではスエリングの潜伏期にあると考えられる。

(2) 引張試験結果

非照射材引張試験片の試験前後の外観写真をFig. 10に、照射材の試験前後の外観写真をそれぞれFig. 11、Fig. 12に示す。さらに引張試験結果をTable 7に示す。試験温度500℃及び600℃では引張試験片の内それぞれ1個がC破断であった。0.2%耐力、引張強さ、伸びと試験温度との関係をそれぞれFig. 13~Fig. 16に示す。同図には非照射材の試験結果も比較のために示してある。今回の試験結果を非照射材のものと比較すると、0.2%耐力は、試験温度500℃の場合、非照射材の値とほぼ等しく、試験温度600℃の場合は、非照射材に比べて低下することが明らかになった。引張強さは、試験温度500℃の場合、非照射材に比べてS材がわずかに低下し、試験温度600℃になると非照射材の値より 15 kg/mm^2 以上の低下が観られた。一様伸び及び破断伸びは、試験温度500℃及び600℃いずれの場合も非照射材の値とほぼ同じであった。また0.2%耐力及び引張強さともMK-Iラップ管の外挿上に位置し、照射材の引張強度に対し冷間加工があまり影響しないことがわかった。

Fig. 17~Fig. 19に0.2%耐力、引張強さ及び伸びの照射による変化をそれぞれ示す。照射温度が500℃の場合、中性子照射によって0.2%耐力は低下するが、低下の程度はN材のほうが顕著である。また、引張強さも低下するのがその割合は、0.2%耐力に比べて小さい。一方、一様伸び及び破断伸びでは照射によって増加していくことがわかった。照射温度が600℃の場合、破断伸びを除いて500℃試験の場合と同様な傾向を示した。

(3) 金属組織観察及び硬さ測定結果

最大 $9.3 \times 10^{22} \text{ n/cm}^2$ ($E > 0.1 \text{ MeV}$)まで照射されたラップ管材料3条件2種類、合計7試料について光学顕微鏡観察を実施した。光学顕微鏡組織をFig. 20~Fig. 26に示す。

試料ZD2KS11を除く6試料の組織はほぼ同じ組織を示している。すなわち、結晶粒界及び双晶境界に炭化物が析出するとともに結晶粒内でもいくらか析出物が観られ

る。この析出物は同じ照射リグで照射した被覆管の光学顕微鏡組織観察の結果から、Laves相と推定される。この Laves相は照射材ではほぼ 550℃以上の温度で析出することから、ラップ管材は 550℃以上で照射されたと推定される。一方試料 Z D 2 K S 1 1 では他の試料とことなり、再結晶した組織を示している。また、試料の位置によっても組織が異なり、片側では σ 相の析出が観られるが、他の面では観られない。 σ 相は 650℃を超えると析出する相であり、従って、一面の温度は、650℃を超え、他はそれ以下であったと推定される。このため、試料の厚さ方向でかなりの温度勾配があったと推定される。

光学顕微鏡観察を実施した試料について硬さ測定を実施した。この結果をTable 5に示す。マイクロビッカース硬さはH v 220~250 の値を示す。この結果を熱時効材の硬さと比較して見ると、いずれの試料も照射温度は 550℃を超えたものと推定される。一方、試料 Z D 2 K S 1 1 の硬さを見ると、厚さ方向でかなりの硬さの勾配があり、硬さ測定の結果からも温度勾配のあったことがうらざけられた。この試料の σ 相のない領域の硬さH v 230~240 であるが、 σ 相の析出した領域き硬さはH v 250~260 と高くなり、熱時効材の結果と一致した。

4.3 パッド材

(1) 外観検査結果

パッド材の外観検査結果をFig. 25~Fig. 35に示す。八角形のパッド材の場合、4種類のパッド材（クロムカーバイドLC-1C、コルモノイNo.6、ステライトNo.6及びインコネル718）が積み重ねられていたが、クロムカーバイドLC-1C及びインコネル718では、表面にわずかな変色が観られたものの照射による他のパッド材の母材部（SUS316）に溶着することもなく、健全な状態が保持されている。これに対して、コルモノイNo.6では溶射部が剥離し他のパッド材の母材の裏面に固着していた。また、ステライトNo.6の場合は他のパッド材の母材部に接触していたと推定されるステライト表面硬化材部には変色が観られなかったが、原子炉の冷却材のNaに洗われていたが部分には変色が観られた。しかし、コルモノイNo.6の場合とことなり剥離には至らなかった。

長方形パッド材の場合、インコネル718の表面に傷がみられたものの照射による大

きな変化は観られなかった。しかし、長方形パッド材を側面から観察してみると、母材（ラップ管）と溶射部分（ベースプレート）の間に空隙が認められた。この空隙の大きさは、クロムカーバイドLC-1C、ステライトNo.6及びインコネル718ではほぼ同じであるが、コルモノイNo.6では数倍も大きくなっている。この空隙の存在は前三者の場合、母材の湾曲によるものである。この原因として照射中の熱影響及び製作時の溶接の影響が考えられるが、照射前の状況が不明のため明確でない。一方、コルモノイNo.6の場合は母材に加えて、溶射部の湾曲も認められている。溶射部の母材への加工方法（溶接）はほぼ同じであることから、コルモノイ部の湾曲は照射の影響が大きいと推定される。長方形パッド材の場合、コルモノイNo.6の剝離は観られなかつたものの、変形が最も大きかった。

このような結果から、クロムカーバイドLC-1C及びインコネル718が優れており、続いて、ステライトNo.6となり、コルモノイNo.6が最も劣っていると考えられる。

(2) 重量測定結果

パッド材の重量測定結果をTable 8及びTable 9に示す。八角形パッド材のクロムカーバイド及びインコネル718の場合、僅かの重量減少を示した。コルモノイNo.6では0.7～0.9gの重量減少を示し、ステライトNo.6では逆に同量の重量増加を示した。これはコルモノイNo.6が剝離し、ステライトNo.6の母材に接着したことによるものである。長方形パッド材の場合は4種とも僅かの重量増加を示した。この結果及び外観検査による表面状態の観察結果からは、照射の重量変化に対する影響は明確とはならなかった。

(3) 金属組織観察及び硬さ測定結果

八角形パッド材の光学顕微鏡観察結果をFig. 36～Fig. 38に示す。クロムカーバイドLC-1Cの場合、SUS316との溶着部に空隙が見られる。コルモノイNo.6及びステライトNo.6では溶射部に空隙が観られる。コルモノイNo.6及びステライトNo.6の場合、同様な表面硬化材が「常陽」MK-I制御棒のハンドリングヘッドやダッシュラム部に施されており、この金相試験の結果^{1) 2)}においてもほぼ同様な結果が得られている。従って、母材との境界部の空隙や溶射部の空隙は、表面硬化材加工時に生じたもので照射による影響ではないと考えられる。また、金相組織的にも大きな変化は観られなかった。このようなことから、金属組織学的には照射の影響は認められなかった。

Fig. 39～Fig. 41に表面硬化材の硬さ測定結果を示す。照射によってステライトNo.6は、

ベースプレート（A I S I 3 1 6）の硬さ程度まで低下したが、他の3者には硬さの増加が認められた。また、コルモノイNo.6については、剝離ステライトNo.6に固着した境界部でより硬さの増加が見られた。これらの結果は、「常陽」MK-I制御棒ハンドリングヘッドの表面硬化材の場合でも同様な傾を示しており、照射硬化によるものであるが、その変化量も大きくなく使用上支障のないものと考えられる。

このように、金相試験の結果、表面硬化材とSUS316との境界部における剝離は観られず、クロムカーバイドLC-1C及びステライトNo.6については約 $6 \times 10^{22} \text{ n/cm}^2$ ($E > 0.1 \text{ MeV}$) までは使用可能と考えられる。このことは、加工法は異なるもののインコネル718についても言える。一方、コルモノイNo.6の場合は、 $1.7 \times 10^{22} \text{ n/cm}^2$ ($E > 0.1 \text{ MeV}$) までは変形したものの、剝離に至らなかった。しかし、約 $6 \times 10^{22} \text{ n/cm}^2$ では剝離した。このことから、コルモノイNo.6はほかの表面硬化材に比べて、ここで試験した範囲での使用限界は、低いと推定される。

5. ま と め

高速原型炉「フェニックス」炉で照射したPhenix-P 2の照後試験を実施した。本試験に供した材料は、Phenix炉心中心部において温度 395～620 °Cで、最高照射量 $1.3 \times 10^{23} \text{ n/cm}^2$ ($E > 0.1 \text{ MeV}$) まで照射されたものである。

本試験は、ラッピングワイヤについてはスエリング挙動に注目し、外径測定、密度測定を、ラップ管については強度及びスエリング挙動に注目し、引張試験、密度測定を、パッド部表面硬化材については照射特性を観るため、外観検査、重量測定を、また、それぞれの材料の金属組織観察及び硬さ測定を実施した。得られた主な結果をまとめると以下の通りになる。

- (1) 外径測定及び密度測定の結果、溶体化処理ラッピングワイヤのスエリングは、高速中性子照射量 $1.3 \times 10^{23} \text{ n/cm}^2$ で12.7%であり、定常スエリング期に入っていると推定される。
- (2) 20%冷間加工ラッピングワイヤのスエリングは 3.4%であり、冷間加工がスエリングの抑制に効果があることを明らかにした。
- (3) 金属組織観察及び硬さ測定の結果、ラッピングワイヤの照射温度は 550°C～ 650°Cと推定される。
- (4) 密度測定の結果、49年度試作のもんじゅ用ラップ管は、非照射材に比較し増加の傾向が観られ、高速中性子照射量 $9.3 \times 10^{22} \text{ n/cm}^2$ までは、スエリングの潜伏期にあると考えられる。
- (5) 引張試験の結果、非照射材と比較すると、0.2%耐力、引張強度とも、試験温度 500 °Cでは同等若くは若干低下する程度だったが、試験温度 600°Cでは 10 kg/mm^2 以上の低下を示した。
- (6) 金属組織観察及び硬さ測定の結果、結晶粒界及び多晶境界に炭化物析出が観られること及び非照射材より硬さの低下が観られることから、ラップ管は 500°C以上で照射されたと推定される。また、ZD2KS1は再結晶した組織を示していること及び内面に σ 面の析出に観られることからその照射温度は 650°Cを超えていると推定される。
- (7) パッド部表面硬化材の外観検査の結果、クロムカーバイド(LC-1C)及びインコネル718は健全な状態に保持されていた。コルモノイNo.6は、溶射部が剥離しステライトNo.6に固着していたこと及び、他の三者より母材、溶射部の湾曲により間隙が大きいことからこの湾曲は照射による影響と推定される。

- (8) 重量測定の結果、クロムカーバイド、インコネル718は僅かな重量減少が見られたが、照射の重量変化に対する影響は、明確とはならなかった。

参考文献

- (1) 野村茂雄他； Phenix-P2の照射後試験(1)
PNC SN941 83-78 (1983) 6月
- (2) 石田泰一； “Phenix-P2、P2（材料照射試験）の試料調製”
PNC SN241 79-02 (1979) 1月
- (3) 「常陽」MK-I炉心燃料集合体（PPJX13及びPPJX12）の照射試験後試験(4)
ラッピングワイヤの試験
PNC I941 85-12 (1985) 7月
- (4) 「常陽」MK-I炉心燃料集合体（PPJX12）の照射試験後試験(3)
ラッパ管の強度及び金相試験
PNC I9410 85-005 (1988) 1月
- (5) 井滝俊幸他； 高速実験炉「常陽」制御棒の照射後試験結果概要（第2報）
PNC SN941 83-111 (1983)
- (6) 伊藤正彦他； 「常陽」MK-I制御棒（TTJC06）の照射試験後試験(2)
PNC ZN941 82-05 (1982) 1月
- (7) 伊藤正彦、小野瀬庄二； 日本金属学会誌、49（1985）、389
- (8) 立石嘉徳他；日本原子力学会誌 Vol.30、No.11（1988）
- (9) Uematsu, K., Kodama, T., Ishida, U., Suzuki, K., and Koyama, M.; “Swelling Behavior of Cold Worked Type 316 Stainless Steel,” Radiation Effects in Breeder Reactor Structural Materials, M. L. Bleiberg and J. W. Bennett, Eds., Metallurgical Society of American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, 1977, PP. 727-755.
- (10) Effects of Radiation on Materials; Eleventh Conference, ASTM STP 782,
1982, PP. 152-165.
- (11) 高橋平七郎他； ステンレス鋼の熱時効析出挙動の研究（II）
PNC SJ9600 87-001 (1987) 6月

Table 1 Chemical Composition, Treatment and Mechanical Properties of Test Specimens(Fuel Subassembly Parts).

TEST SPECIMEN	CELL No.	SPECIMEN No.	MATERIAL	CHEMICAL COMPOSITION (%)																			TREATMENT	TENSILE TEST			HARDNESS TEST Hv	CHARPY IMPACT (Kg. m/cm ²) at 17°C			
				Fe	C	Si	Mn	p	s	Ni	Cr	Mo	Co	B	N	Al	As	Cu	Nb+Ta	Ti	V	O		W	TEST TEMP.	$\sigma_{0.2}$ (Kg/mm ²)			σ_B (Kg/mm ²)	(%)	
Casting Material	A	A1, A2, A3, A4	SCS 14	Bal.	0.04	0.97	0.73	≤0.04	≤0.04	13.10	19.30	2.43	≤0.25	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	Solution Treatment	R.T.	22.5	52.0	62.0	--	25.5 17.2 21.8	
	K	K1, K2, K3, K4																							R.T.	22.5	52.0	62.0	--	25.5 17.2 21.8	
	P	P1, P2, P3, P4																							R.T.	22.5	52.0	62.0	--	25.5 17.2 21.8	
Wrapper Tube	K	S1, S2	AISI 316	Bal.	0.054	0.52	1.65	0.027	0.008	12.85	16.30	2.13	0.29	0.0005	0.0200	0.028	0.004	0.28	0.002	0.002	0.038	0.0058	--	19.3% Cold Working	R.T.	71.7	77.0	20.7	258	--	
	M	S3, S4																							650°C	42.6	45.9	19.7			
	O	S5, S6																							R.T.	68.4	75.6	21.8	258	--	
	Q	S7, S8																							650°C	42.6	45.9	19.7			
	K	N37	AISI 316	Bal.	0.039	0.58	1.27	0.026	0.004	12.78	16.64	2.16	0.31	0.0002	0.0257	0.003	0.03	0.08	0.001	0.001	0.05	0.0054	--	20% Cold Working	R.T.	68.4	75.6	21.8	258	--	
	M	N38, N39																							650°C	39.9	45.5	16.3			
	O	N40, N41																							R.T.	68.4	75.6	21.8	258	--	
Q	N42, N43	650°C	39.9	45.5	16.3																										
Wear Pad	L, N	Base Plate (Common)	LC-1C	Bal.	0.039	0.58	1.27	0.026	0.004	12.78	16.64	2.16	0.31	0.0002	0.0257	0.003	0.03	0.08	0.001	0.001	0.05	0.0054	--	20% Cold Working	R.T.	68.4	75.6	21.8	258	--	
	L	C1, C2, C3																							83 w/o Cr ₃ C ₂	17 w/o Ni Cr					
	N	C19																													
	L	M25, M26, M27	Colmonoy No6	4.75	0.75	4.25	--	--	--	73.75	13.5	--	--	3.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--							
	N	M43																													
	L	S49, S50, S51	Stellite No6	--	0.7	3	--	--	--	13	19	--	Bal.	1.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	8							
	N	S67																													
Wrapping Wire	H, K, M, N, O, Q	NO MARK	AISI 316	Bal.	0.058	0.51	1.69	0.006	0.011	12.82	16.91	2.53	0.02	0.0003	0.022	--	--	--	--	--	--	--	--	Solution Treatment	R.T.	--	69.5	39.0	--	--	
	1.3 φ	650°C																							--	49.0	25.0				
	NO MARK	1.23 φ																							10.5% Cold working						
NO MARK	1.15 φ	21.7% Cold working																													
		NO MARK		Bal.	0.056	0.47	1.87	0.013	0.006	13.92	17.44	2.58	0.04	0.0003	0.0070	0.006	0.004	0.03	0.01	0.010	0.02	0.0011	--	Solution Treatment	R.T.	--	68.8	50.4	--	--	
		0.9 φ																						650°C	--	52.3	32.0				

Table 2 Diameter change of wrapping wire irradiated in Phenix.

Cell No.	Irradiation Condition	Specimen No.	Treatment (%)	Before Irrad.	After Irrad.	D-Do	3(D-Do)
				Diameter Do (mm)	Diameter Do(mm)Av.	Do (%)	Do (%)
H	Fluence (E>0.1Mev) 12.8×10^{22} n/cm ² Temperature 585°C	ZD2HA31	S. T	1.297 1.295 1.295 1.294 1.293	1.351	4.2) 4.5	12.6) 13.5
		ZD2HB21	10	1.225 1.223 1.221 1.221 1.220	1.254	2.4) 2.8	7.2) 8.4
		ZD2HC31	20	1.132 1.130 1.128 1.127 1.126	1.133	0.0) 0.6	0.0) 1.8
		ZD2HD31	S. T	0.910 0.906 0.904 0.904 0.902	0.935	2.7) 3.7	8.1) 11.1
		ZD2HD41	S. T	0.910 0.906 0.904 0.904 0.902	0.943	3.6) 4.5	10.8) 13.5
K	9.3×10^{22} n/cm ² 570°C	ZD2KD11	S. T	0.906 0.903 0.905 0.904	0.928	2.4) 2.8	7.2) 8.4
M	3.5×10^{22} n/cm ² 460°C	ZD2MD41	S. T	0.906 0.903 0.904 0.902 0.904	0.898	-0.9) -0.4	-2.7) -1.2

Table 3 Change of density of wrapping wire irradiated in Phenix.

Cell No.	Irradiation condition		Specimen number	Treatment (%)	Density (g/cm ³)		$\Delta \rho / \rho$ *) (%)
	Fluence (n/cm ² , E>0.1MeV)	Temperature (°C)			Measured	Average	
H	12.8×10^{22}	585	ZD2HA3	S. T	7.063 7.066 7.060 7.065 7.066	7.06	12.7
H	12.8×10^{22}	585	ZD2HB2	10	7.370 7.383 7.384 7.385 7.390	7.38	7.9
H	12.8×10^{22}	585	ZD2HC2	20	7.705 7.700 7.697 7.700 7.696	7.70	3.4
H	12.8×10^{22}	585	ZD2HD31	S. T	7.063 7.064 7.063 7.067 7.071	7.07	12.7
K	9.3×10^{22}	570	ZD2KD11	S. T	7.375 7.375 7.374 7.376 7.378	7.38	8.0
M	3.5×10^{22}	460	ZD2MD41	S. T	7.942 7.947 7.947 7.936 7.949	7.94	0.4
As received			—	S. T	7.971 7.974 7.972 7.974 7.968	7.97	—

$$*) \frac{\Delta \rho}{\rho} = \frac{\rho_0 - \rho}{\rho} = \frac{V - V_0}{V_0} = \frac{\Delta V}{V_0}$$

ρ : Density after irradiation.
 ρ_0 : Density before irradiation.
 V : Volume after irradiation.
 V_0 : Volume before irradiation.

Table 4 Micro hardness of Irradiated Wrapping Wire.

Specimen No.	Irradiation Condition		Microhardness Hv (500g loaded)
	Flunence (n/cm ²)	Temp. (°C)	
Unirrad.	—	—	160
ZD2MD4A	3.5×10^{22}	460	208
ZD2KD4A	9.3×10^{22}	570	182
ZD2HD4A	12.8×10^{22}	585	182

Table 5 Micro hardness of Irradiated Wrapper tube.

Specimen No.	Irradiation Condition		Microhardness Hv (500g loaded)
	Flunence (n/cm ²)	Temp. (°C)	
Unirrad.	—	—	258
ZD2KS11	9.3×10^{22}	614	245
ZD2MS31	3.5×10^{22}	493	237
ZD2OS51	1.0×10^{22}	514	227
ZD2QS71	0.6×10^{22}	514	251
ZD2MN21	3.5×10^{22}	493	242
ZD2ON41	1.0×10^{22}	514	224
ZD2QN61	0.6×10^{22}	514	221

Table 6 Change of density of wrapper tube irradiated in Phenix.

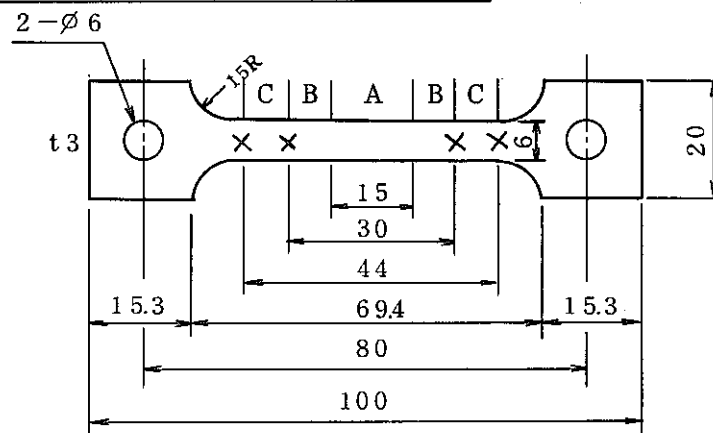
Cell No.	Irradiation condition		Specimen number	Material	Density (g/cm ³)		$\Delta\rho/\rho^*$ (%)
	Fluence n/cm ² (E>0.1MeV)	Temperature (°C)			Measured	Average	
K	9.3×10^{22}	614	ZD2KS1	S 1	7.9678 7.9673 7.9671 7.9671 7.9656	7.967	-0.06
M	3.5×10^{22}	493	ZD2MS3	S 3	7.9678 7.9673 7.9681 7.9680 7.9683	7.968	-0.08
O	1.0×10^{22}	511	ZD2OS5	S 5	7.9696 7.9691 7.9691 7.9692 7.9691	7.969	-0.09
Q	0.6×10^{22}	514	ZD2QS7	S 7	7.9710 7.9716 7.9718	7.972	-0.13
As- received	—	—	(S12)	S 1 2	7.9615 7.9616 7.9616 7.9625 7.9625	7.962	—
K	9.3×10^{22}	614	ZD2KN1	N 1	7.9636 7.9636 7.9637	7.964	-0.05
M	3.5×10^{22}	493	ZD2MN2	N 2	7.9676 7.9677 7.9680	7.968	-0.10
O	1.0×10^{22}	511	ZD2ON4	N 4	7.9694 7.9683 7.9701 7.9693 7.9699	7.969	-0.11
Q	0.6×10^{22}	514	ZD2QN6	S 6	7.9714 7.9723 7.9736	7.972	-0.15
As- received	—	—	(N12)	N 1 2	7.9588 7.9599 7.9656 7.9606 7.9621	7.960	—

$$*) \frac{\Delta\rho}{\rho} = \frac{\rho_0 - \rho}{\rho} = \frac{V - V_0}{V_0} = \frac{\Delta V}{V_0}$$

ρ : Density after irradiation.
 ρ_0 : Density before irradiation.
 V : Volume after irradiation.
 V_0 : Volume before irradiation.

Table 7 Tensile propeerties of wapper tubes irradiated in Phenix.

Cell No.	Irradiation condition		Specimen number	Material	Gauge length (mm)	Test Temperature (°C)	Cross-head speed (mm/min)	0.2% proof stress (kg/mm ²)	Tensile strenght (kg/mm ²)	Uniform elongation (%)	Fracture elongation (%)	Fracture location
	Fluence n/cm ² (E>0.1MeV)	Temperature (°C)										
K	9.3×10 ²²	605	ZD2KS2	S	44.0	600	0.1	30.9	41.2	7.5	11.1	C
K	9.3×10 ²²	605	ZD2KN1	N	44.0	600	0.1	28.3	41.4	11.6	18.6	B
M	3.5×10 ²²	490	ZD2MS4	S	44.0	500	0.1	48.8	60.9	9.6	13.9	B
M	3.5×10 ²²	490	ZD2MN3	N	44.0	500	0.1	46.3	60.2	10.8	16.0	B
O	1.0×10 ²²	505	ZD2OS6	S	44.0	500	0.1	45.7	56.3	7.0	11.4	B
O	1.0×10 ²²	505	ZD2ON5	N	44.0	500	0.1	45.5	56.6	7.8	10.6	B
Q	0.6×10 ²²	510	ZD2QS8	S	30.0	500	0.1	48.5	60.3	6.1	14.1	A
Q	0.6×10 ²²	510	ZD2QN7	N	44.0	500	0.1	44.4	56.2	8.1	12.2	C
As received			S13	S	30.2	500	0.1	49.2	64.7	6.1	10.6	B
			S14	S	30.3	500	0.1	46.9	61.7	7.3	10.9	A
			S16	S	30.0	600	0.1	40.8	59.0	4.9	16.7	B
			S17	S	30.0	600	0.1	50.0	55.7	5.8	22.0	A
			N13	N	30.2	500	0.1	54.9	62.9	7.1	11.6	B
			N14	N	30.3	500	0.1	56.2	62.8	6.8	11.2	B
			N15	N	30.0	600	0.1	38.2	54.3	4.1	21.7	A
			N16	N	30.4	600	0.1	41.6	54.2	3.9	22.4	A



Profile of Tensile Specimen

Table 8 Weight measurement of irradiated pad specimens(Oblong shaped specimens).

Specimen No.	Coating material	Weight (g)							Change of weight (2)-(1) (g)
		Before irradiation (1)	After irradiation						
			1	2	3	4	5	Average (2)	
ZD2NC9	LC-1C	35.5718	35.6121	35.6123	35.6113	35.6123	35.6128	35.6122	0.0404
ZD2NM4	Colmonoy No.6	34.3762	34.3850	34.3842	34.3852	34.3855	34.3828	34.3845	0.0083
ZD2NS7	Stellite No.6	35.7997	35.8380	35.8367	35.8367	35.8373	35.8362	35.8370	0.0373
ZD2NI1	Inconel 718	33.7452	33.7964	33.7958	33.7958	33.7962	33.7957	33.7960	0.0508

Table 9 Weight measurement of irradiated pad specimens (Octagen shaped specimens).

Specimen No.	Coating material	Weight (g)					Change of weight (2)-(1) (g)
		Before irradiation (1)	After irradiation				
			1	2	3	Average (2)	
ZD 2 L C 1	LC-1C	11.5918	11.576	11.578	11.579	11.578	-0.014
ZD 2 L C 2		13.0042	12.988	12.989	12.988	12.988	-0.016
ZD 2 L C 3		11.7371	11.726	11.727	11.727	11.727	-0.010
ZD 2 L M 5	Colmonoy No.6	10.1438	9.495	9.497	9.498	9.497	-0.647
ZD 2 L M 6		11.8842	11.003	11.004	11.003	11.003	-0.881
ZD 2 L M 7		11.0295	10.318	10.319	10.319	10.319	-0.711
ZD 2 L S 7	Stellite No.6	11.6970	12.307	12.307	12.307	12.307	-0.610
ZD 2 L S 0		12.8920	13.722	13.721	13.721	13.721	-0.829
ZD 2 L S 1		12.2578	12.936	12.938	12.938	12.937	-0.679
ZD 2 L I 3	Inconel 718	11.5667	11.555	11.555	11.555	11.555	-0.012
ZD 2 L I 4		12.5536	12.543	12.542	12.542	12.542	-0.012
ZD 2 L I 5		11.0184	11.008	11.009	11.008	11.008	-0.011

- Temperature measured by SiC
- Temperature measured by Mo void lattice parameter
- Temperature calculated by hardness value

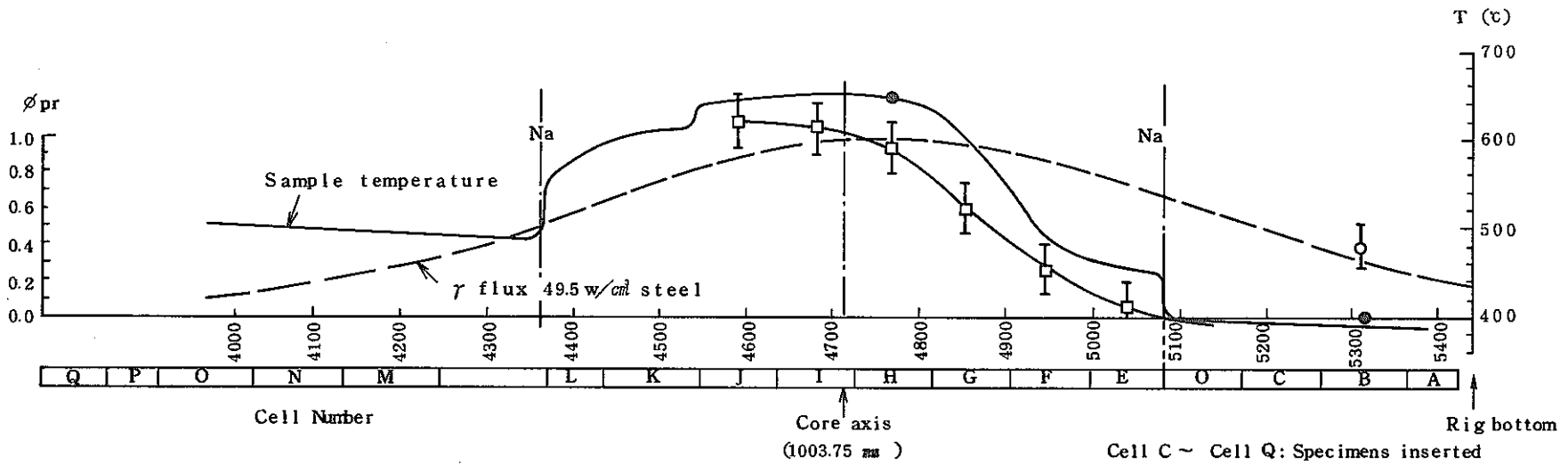
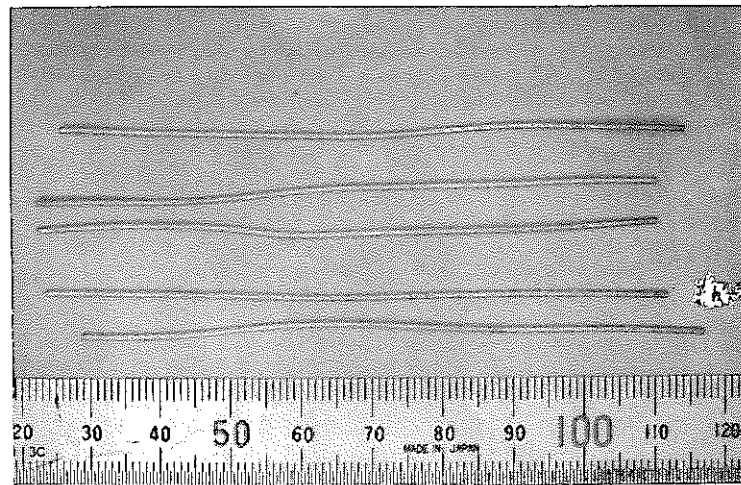
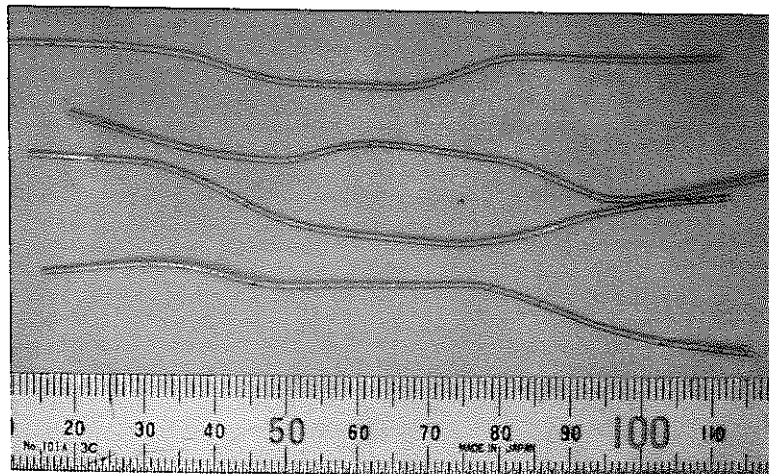


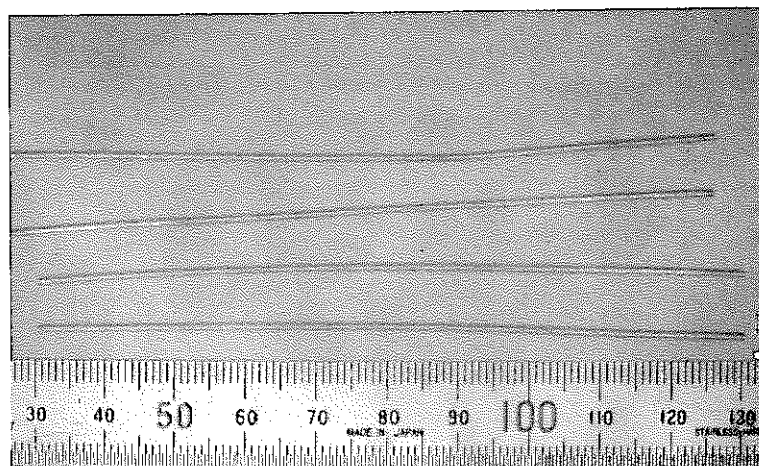
Fig.1 Irradiation conditions for Phenix-P2 (PNC C1 rig).



ZD 2 HD



ZD 2 KD



ZD 2 MD

Fig. 2 Appearance of irradiated wrapping wire.

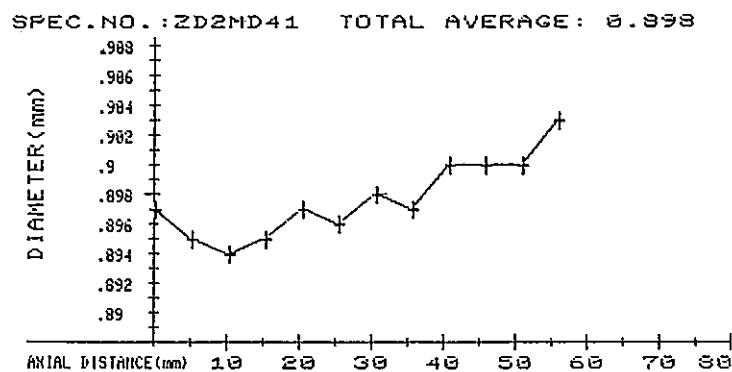
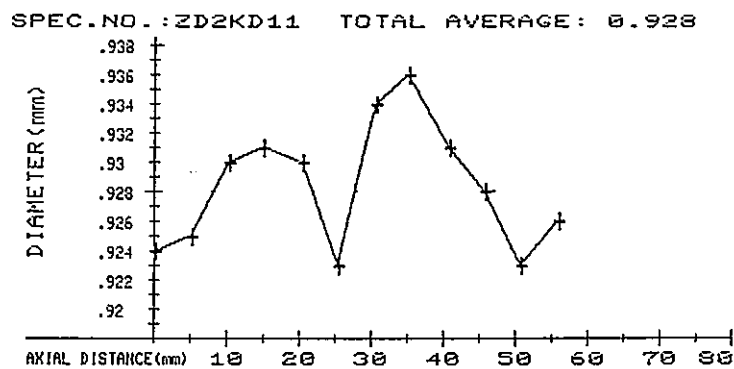
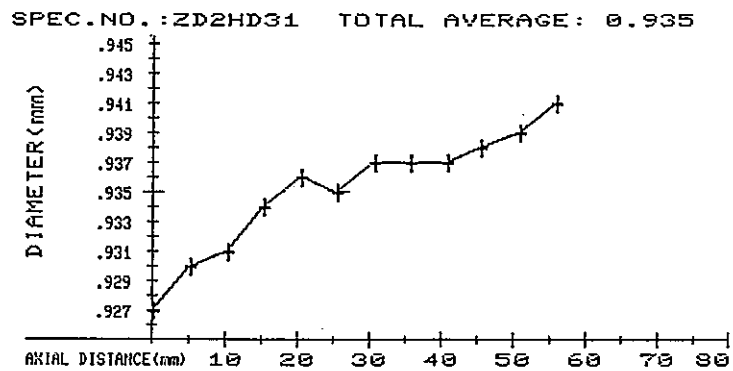
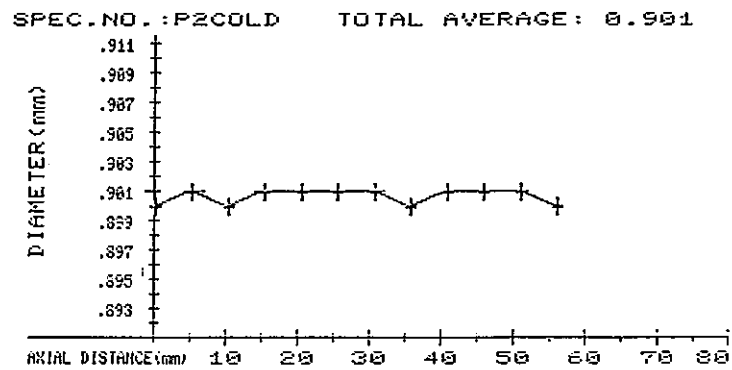


Fig.3 Diameter distribution of irradiated wrapping wire.

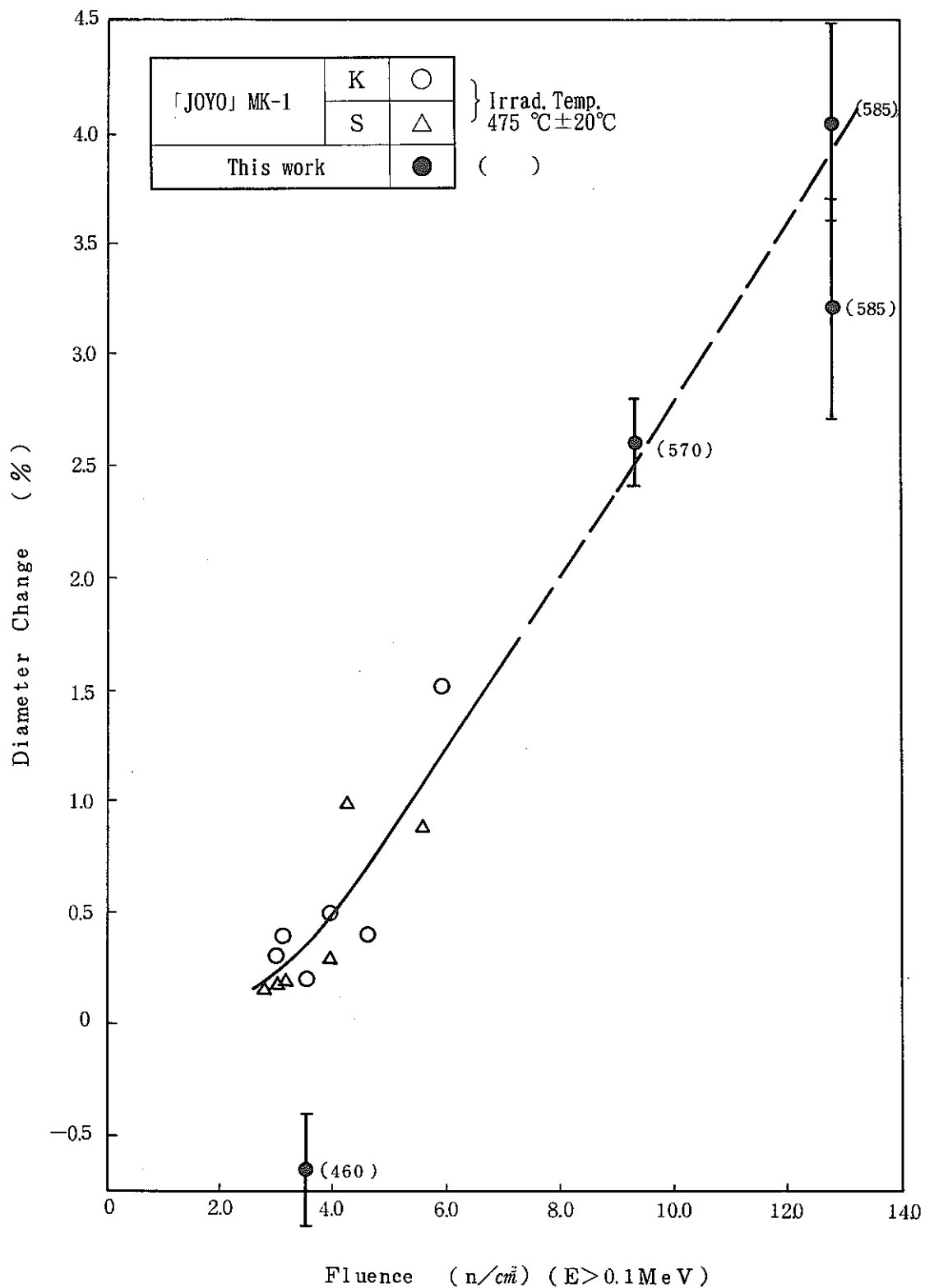


Fig. 4 Diameter change of irradiated wrapping wire as a function of fluence.

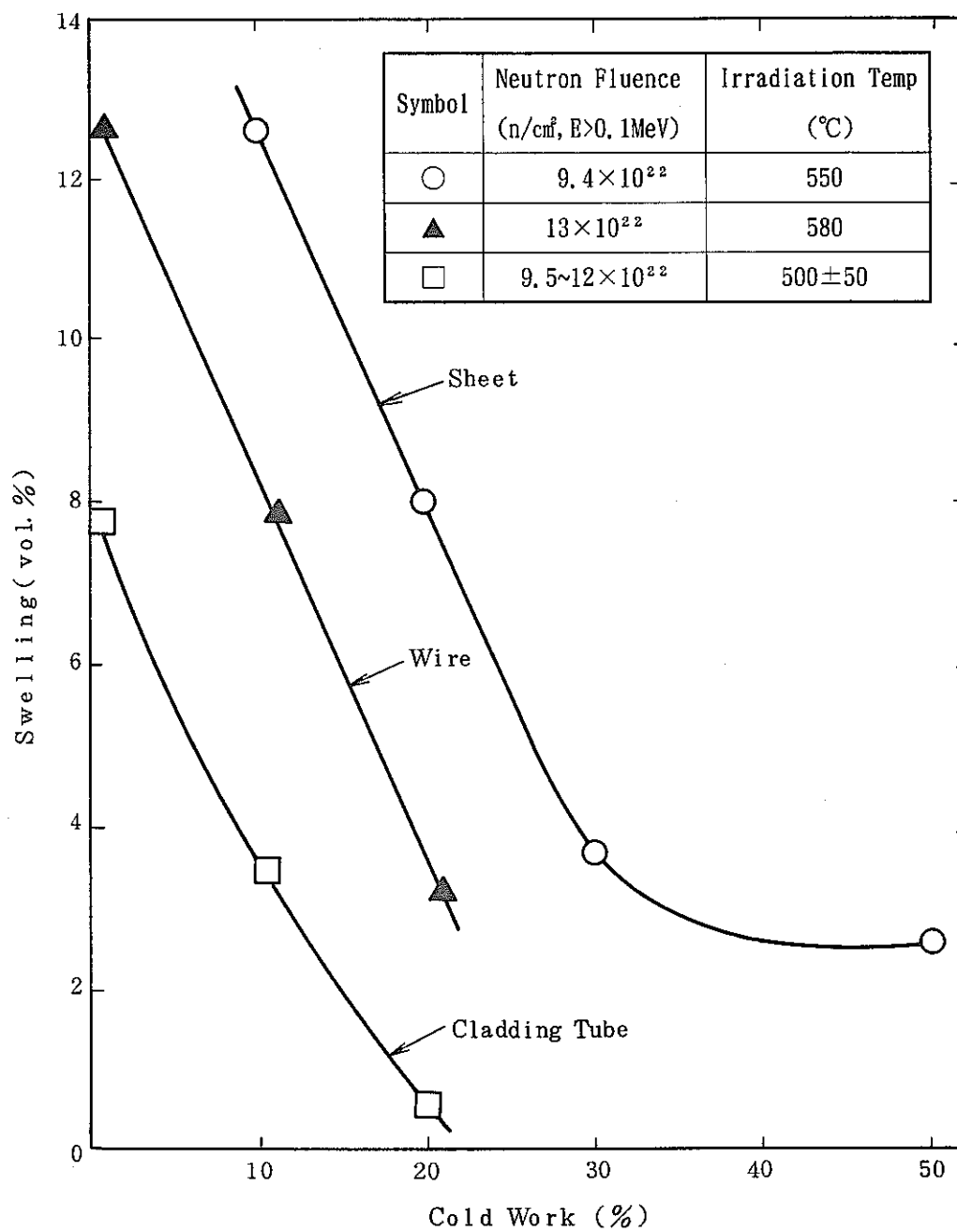
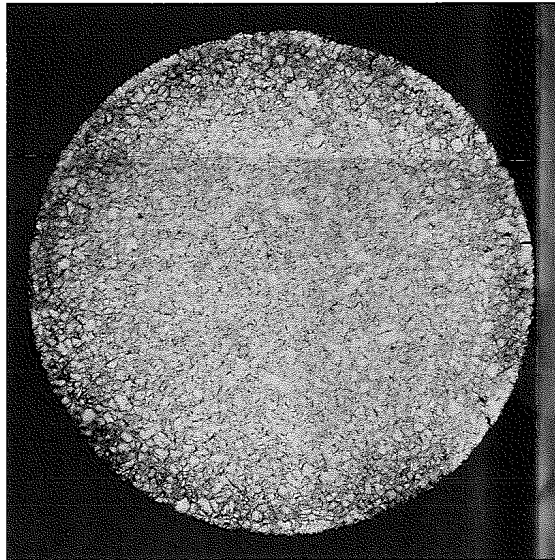
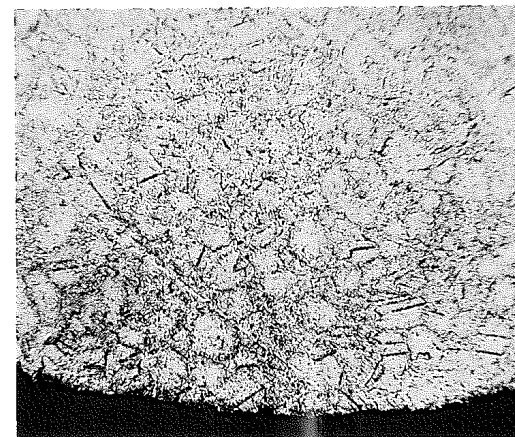
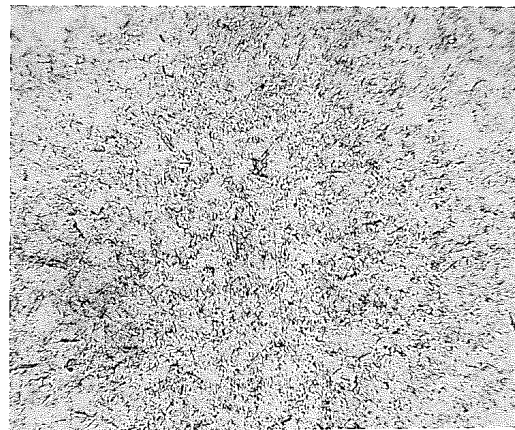
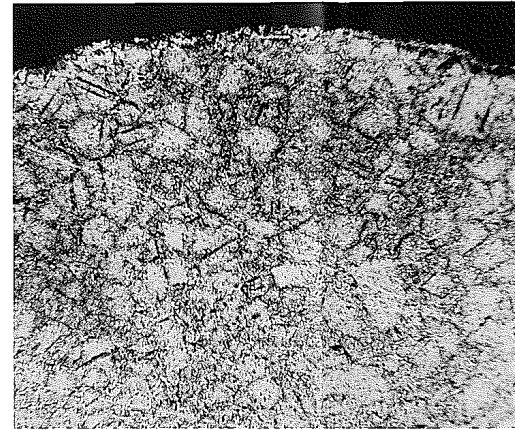


Fig.5 Effect of Cold-Work on Swelling of SUS316 Stainless Steels.



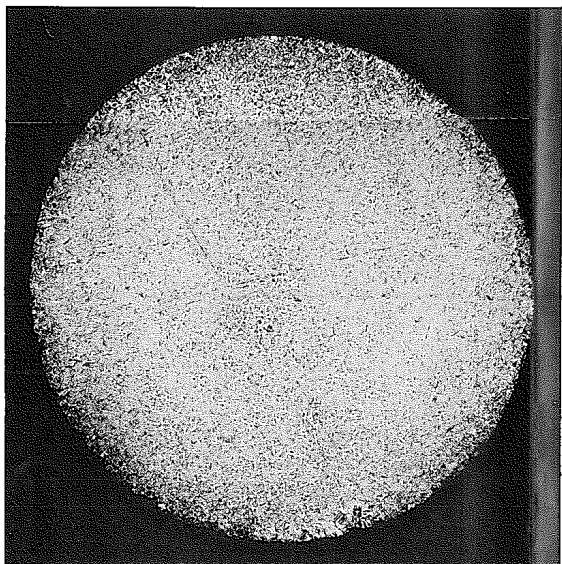
×100

Cell No.	H
Specimen No.	Z D 2 H D 3 A
Fluence n/cm ² (E>0.1MeV)	1.28×10^{22}
Irrad Temperature °C	585



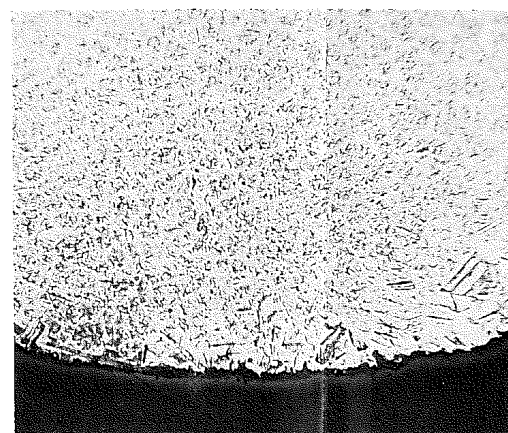
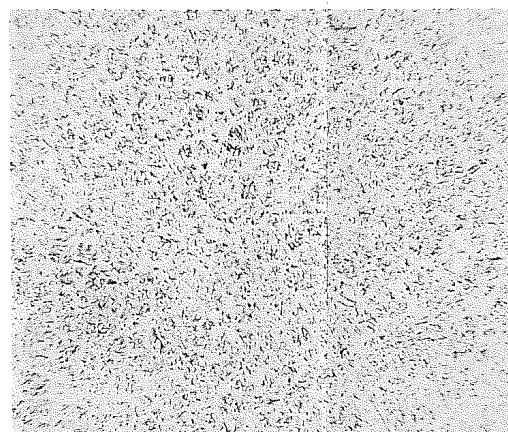
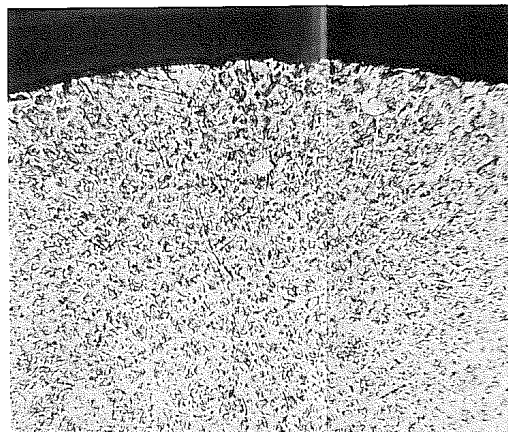
×400

Fig.6 Optical micrographs of irradiated wrapping wire.



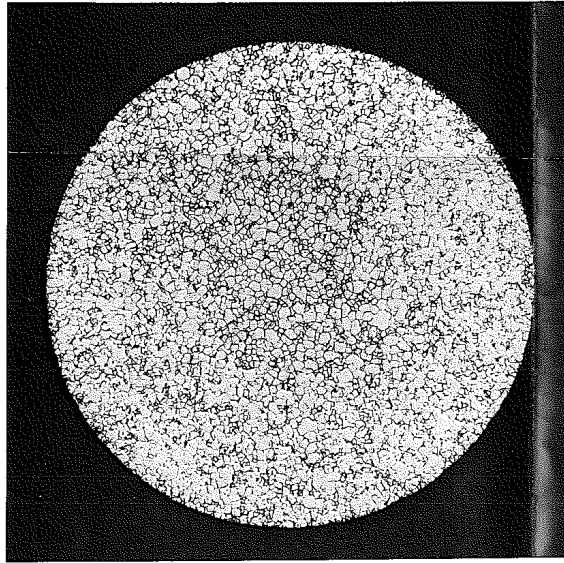
×100

Cell No.	K
Specimen No.	Z D 2 K D 2 A
Fluence n/cm ² (E>0.1MeV)	9.3×10^{22}
Irrad Temperature °C	570



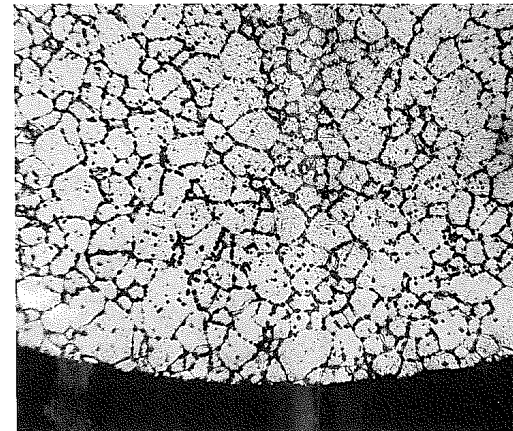
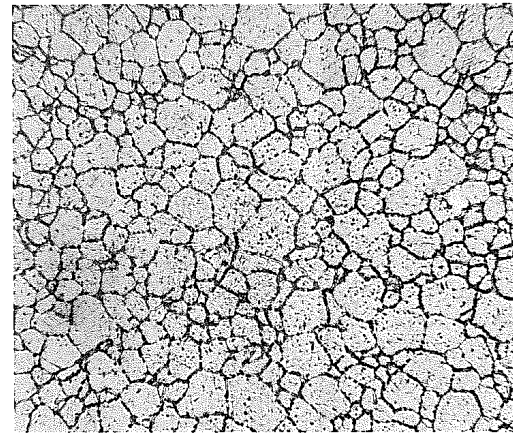
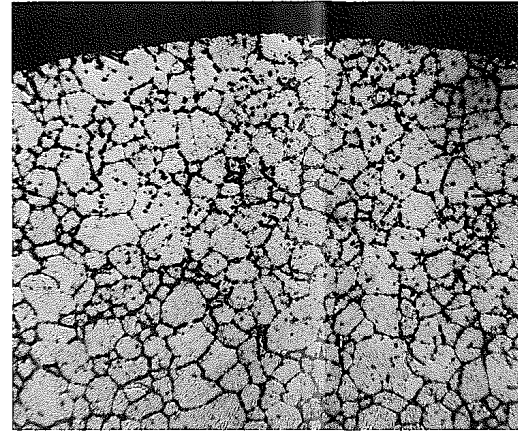
×400

Fig.7 Optical micrographs of irradiated wrapping wire.



×100

Cell No.	M
Specimen No.	Z D 2 MD 4 A
Fluence n/cm ² (E>0.1Mev)	3.5×10^{22}
Irrad Temperature °C	460



×400

Fig. 8 Optical micrographs of irradiated wrapping wire.

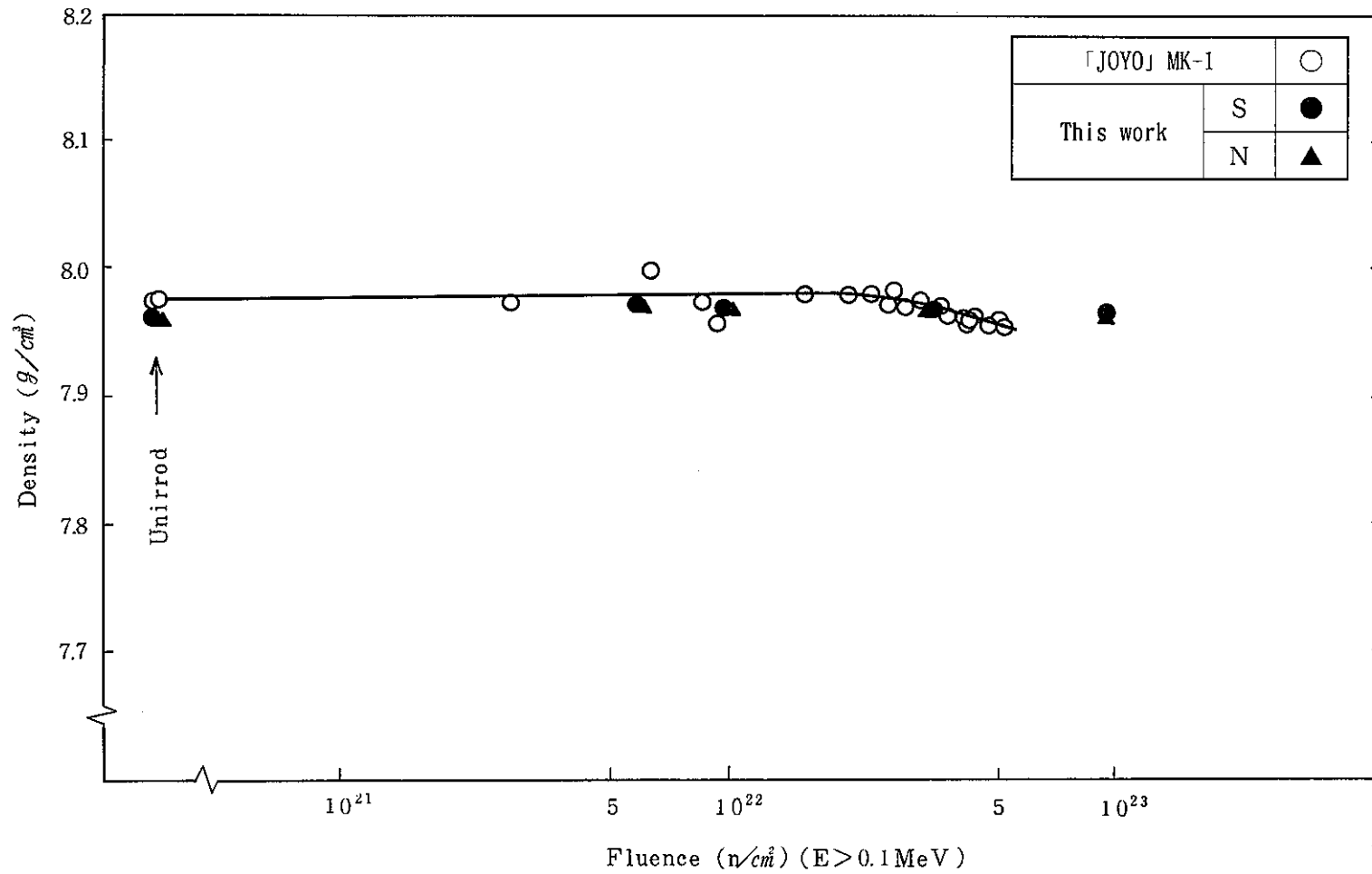


Fig.9 Density of irradiated wrapper tubes as a function of fluences.

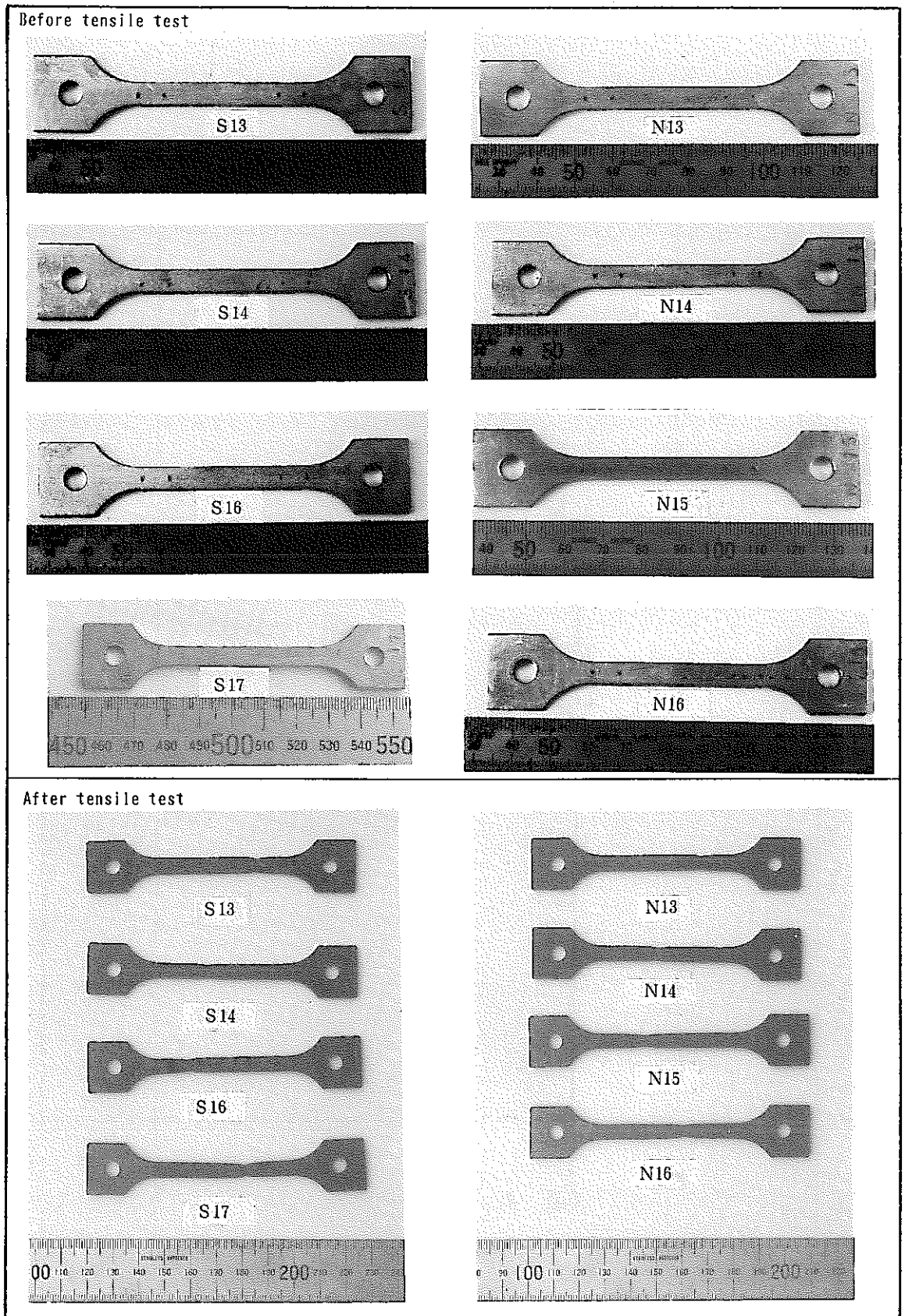


Fig.10 Appearance of tensile specimens for unirradiated wrapper tube.

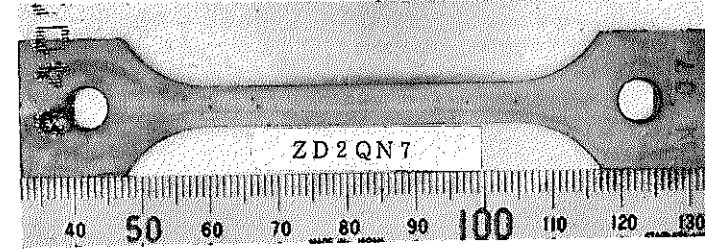
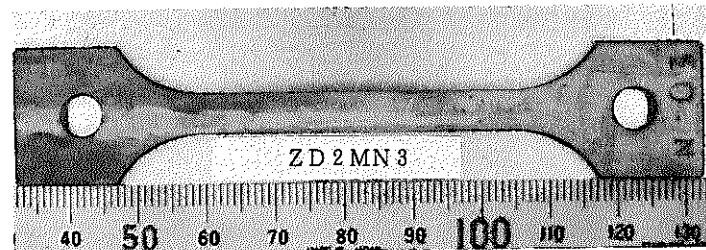
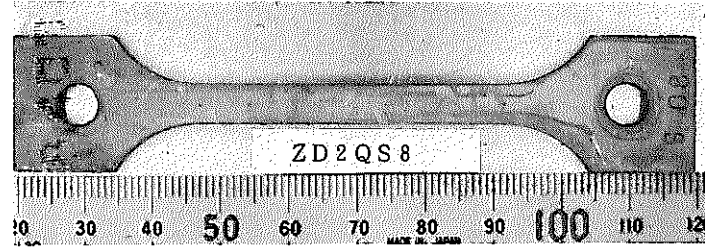
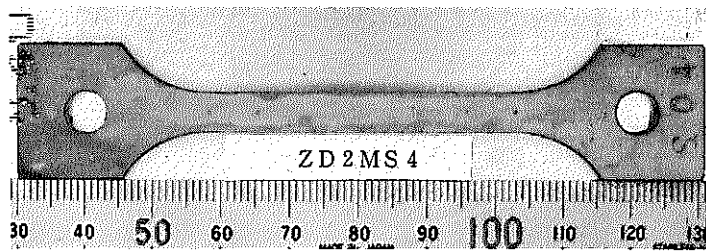
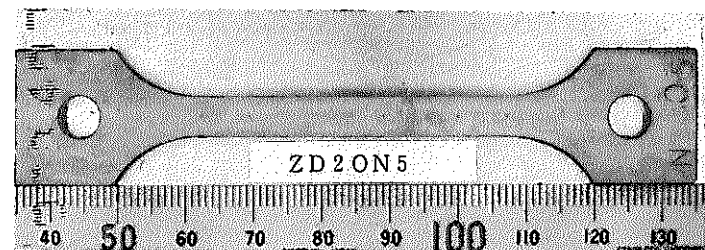
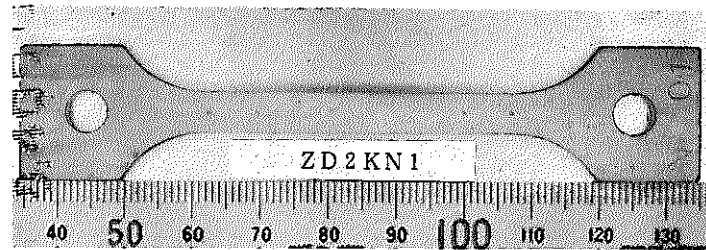
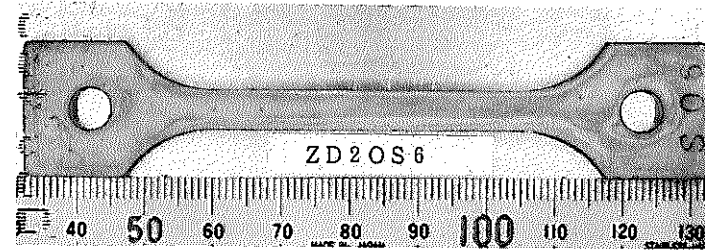
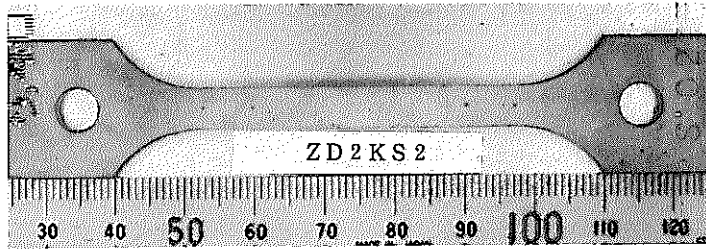


Fig.11 Appearance of tensile specimens for irradiated wrapper tube.

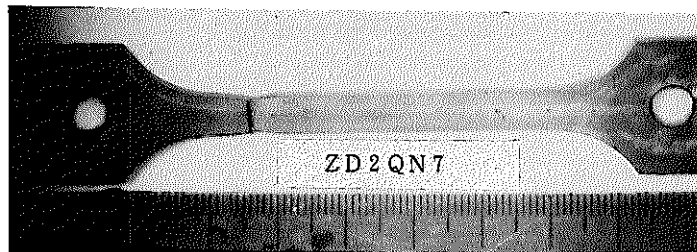
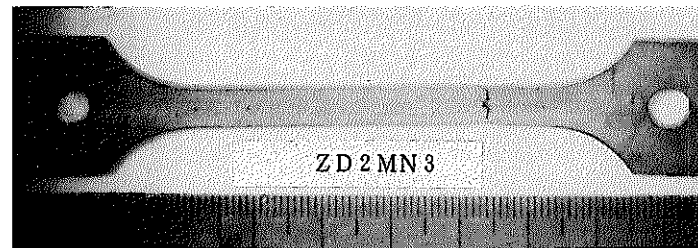
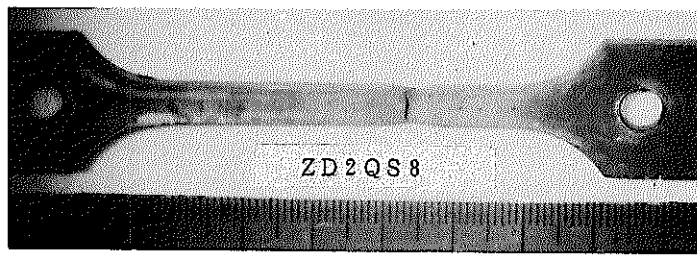
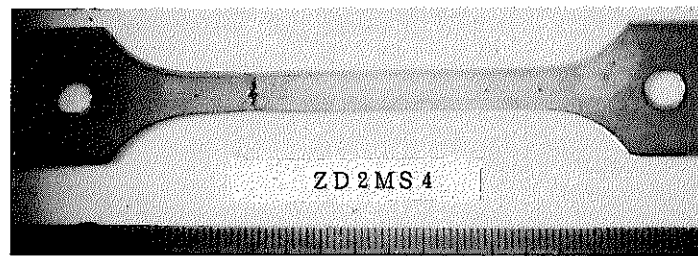
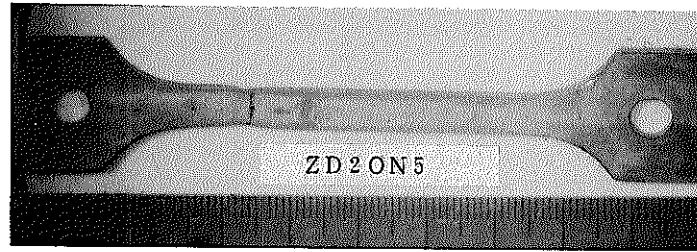
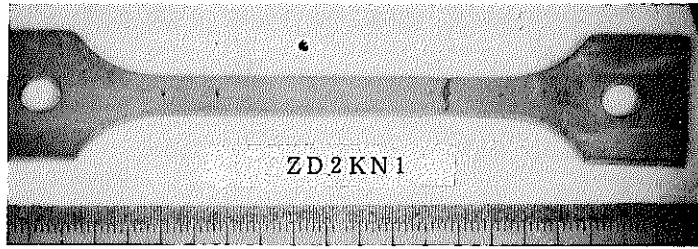
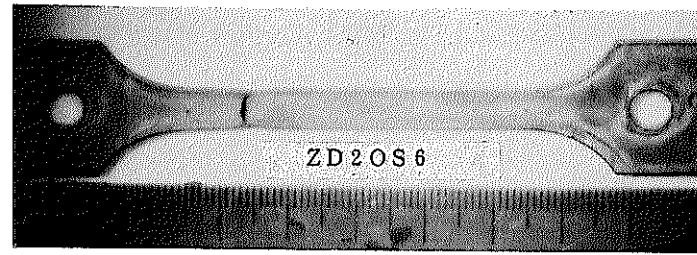
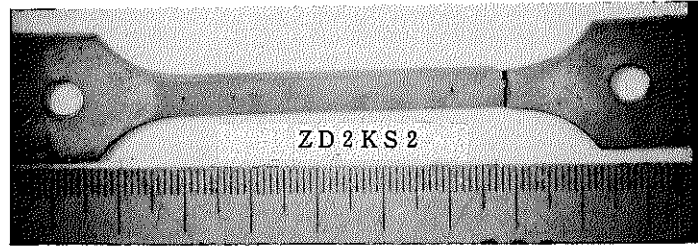


Fig.12 Fracture appearance of irradiated wrapper tubes for tensile specimens.

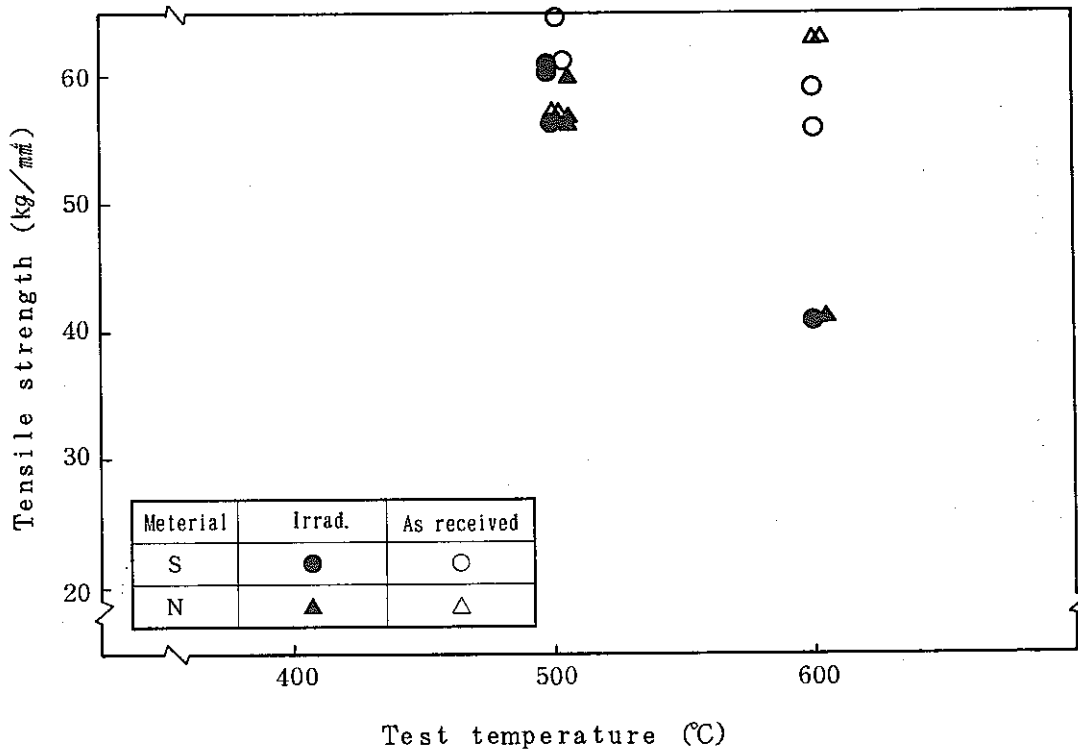


Fig.13 Comparison of tensile strength for wrapper tubes as-received and irradiated(Phenix-P2)conditions.

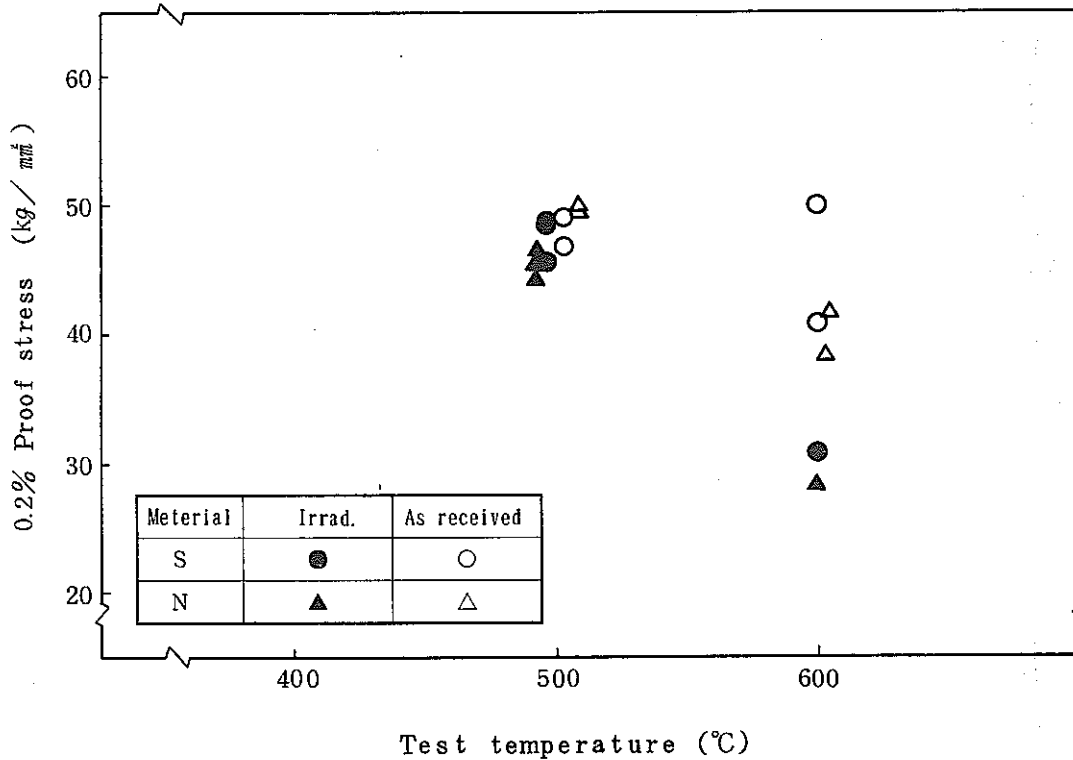


Fig.14 Comparison of 0.2% proof stress for wrapper tubes as-received and irradiated(Phenix-P2)conditions.

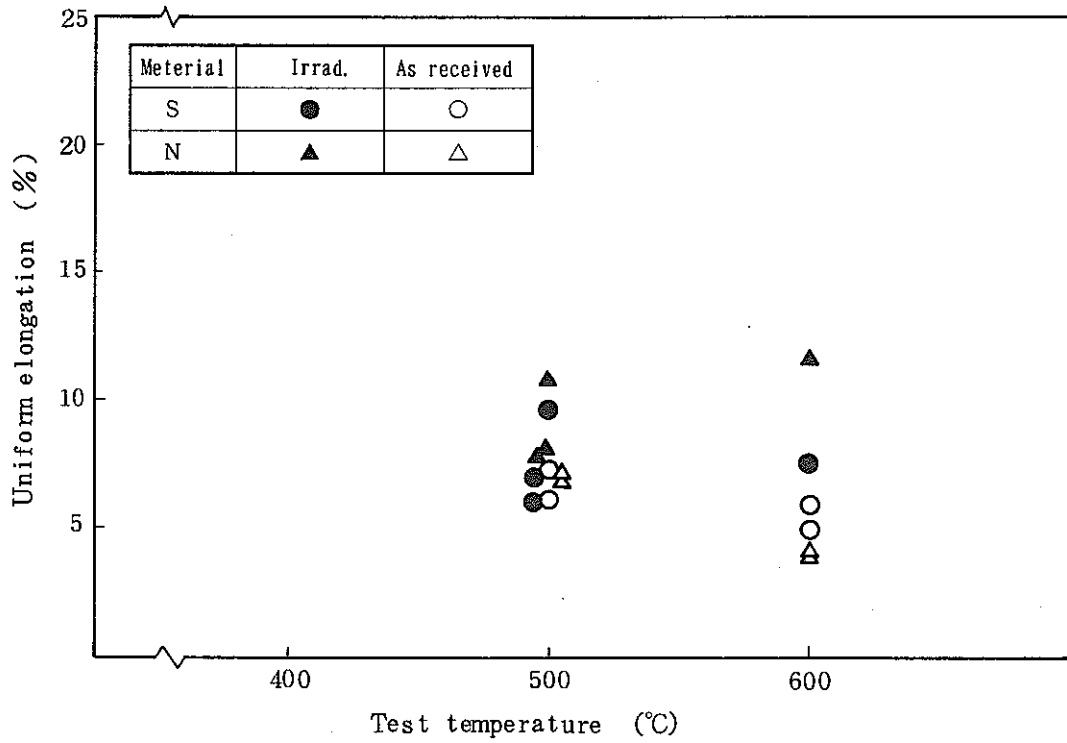


Fig.15 Comparison of uniform elongation for wrapper tubes as-received and irradiated(Phenix-P2)conditions.

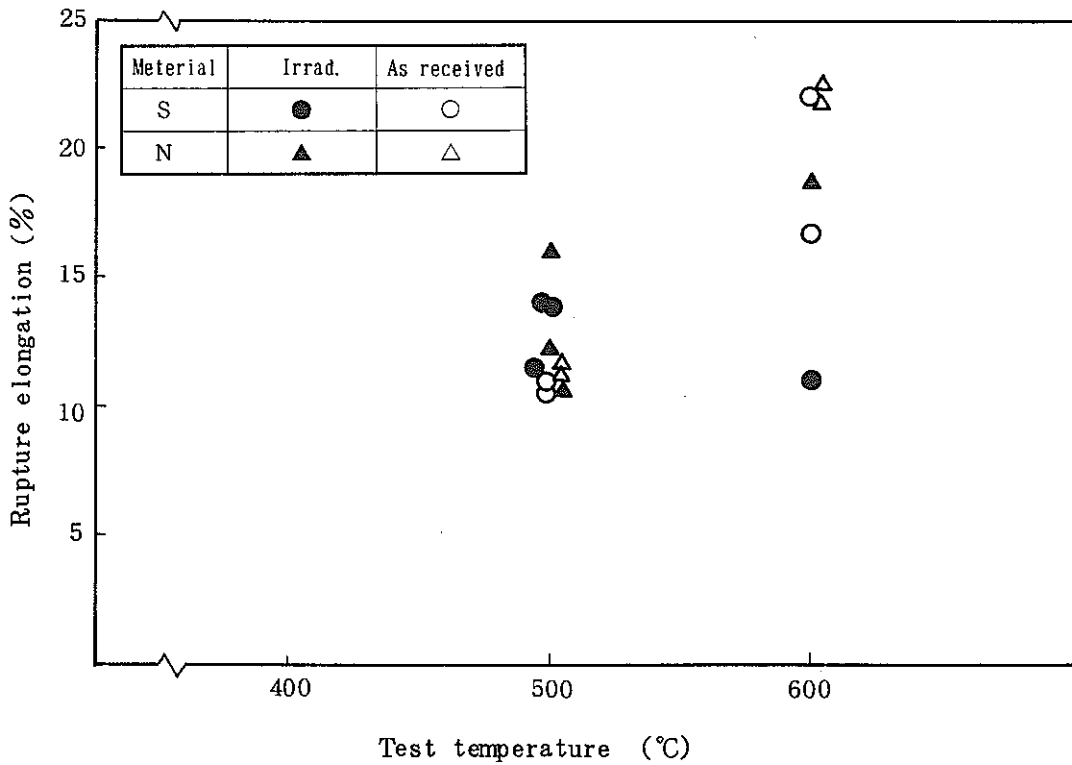


Fig.16 Comparison of rupture elongation for wrapper tubes as-received and irradiated(Phenix-P2)conditions.

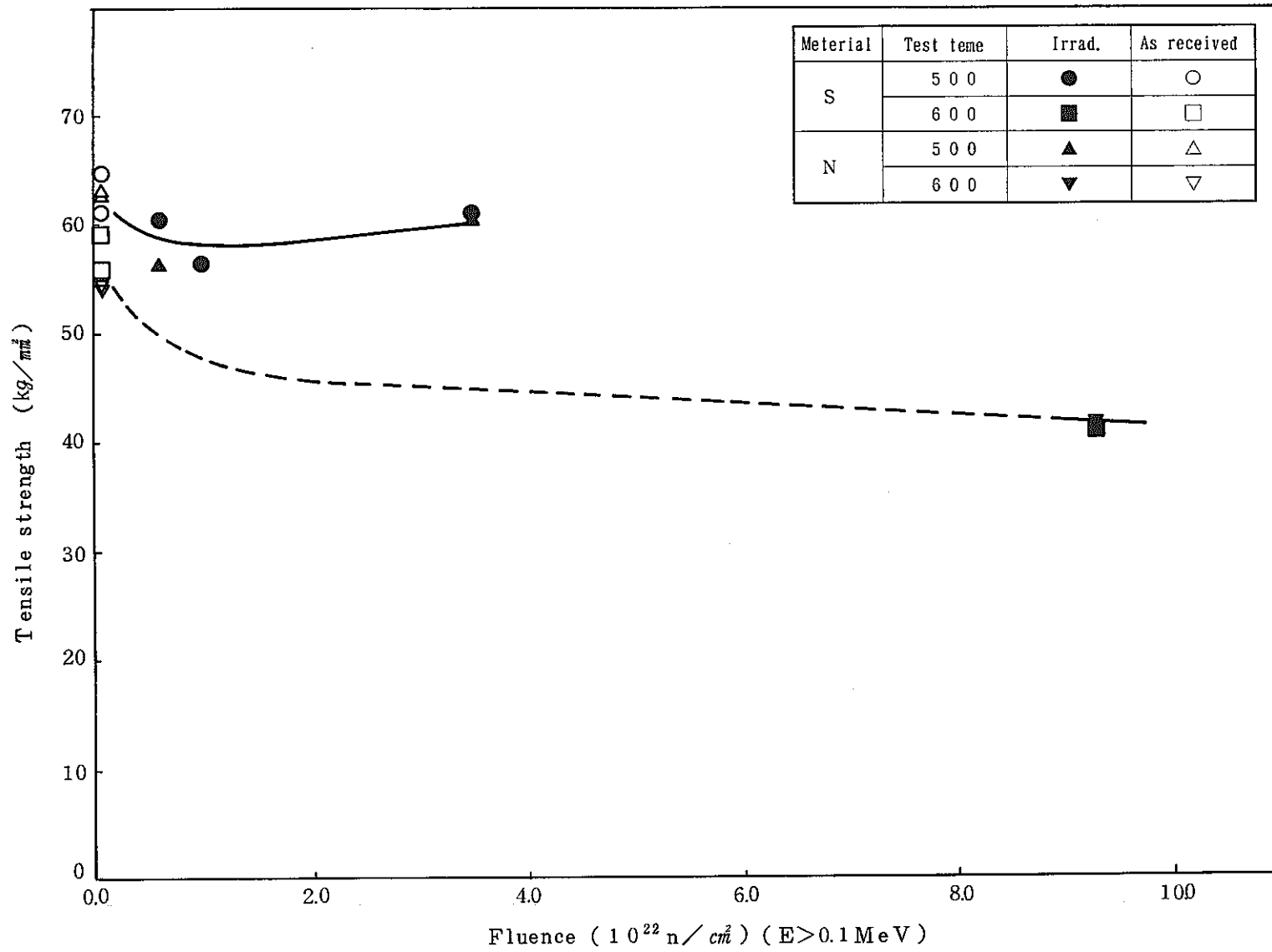


Fig.17 Tensile strength of irradiated wrapper tubes at 500°C and 600°C as a function of fast neutrom fluence (Phenix-P2).

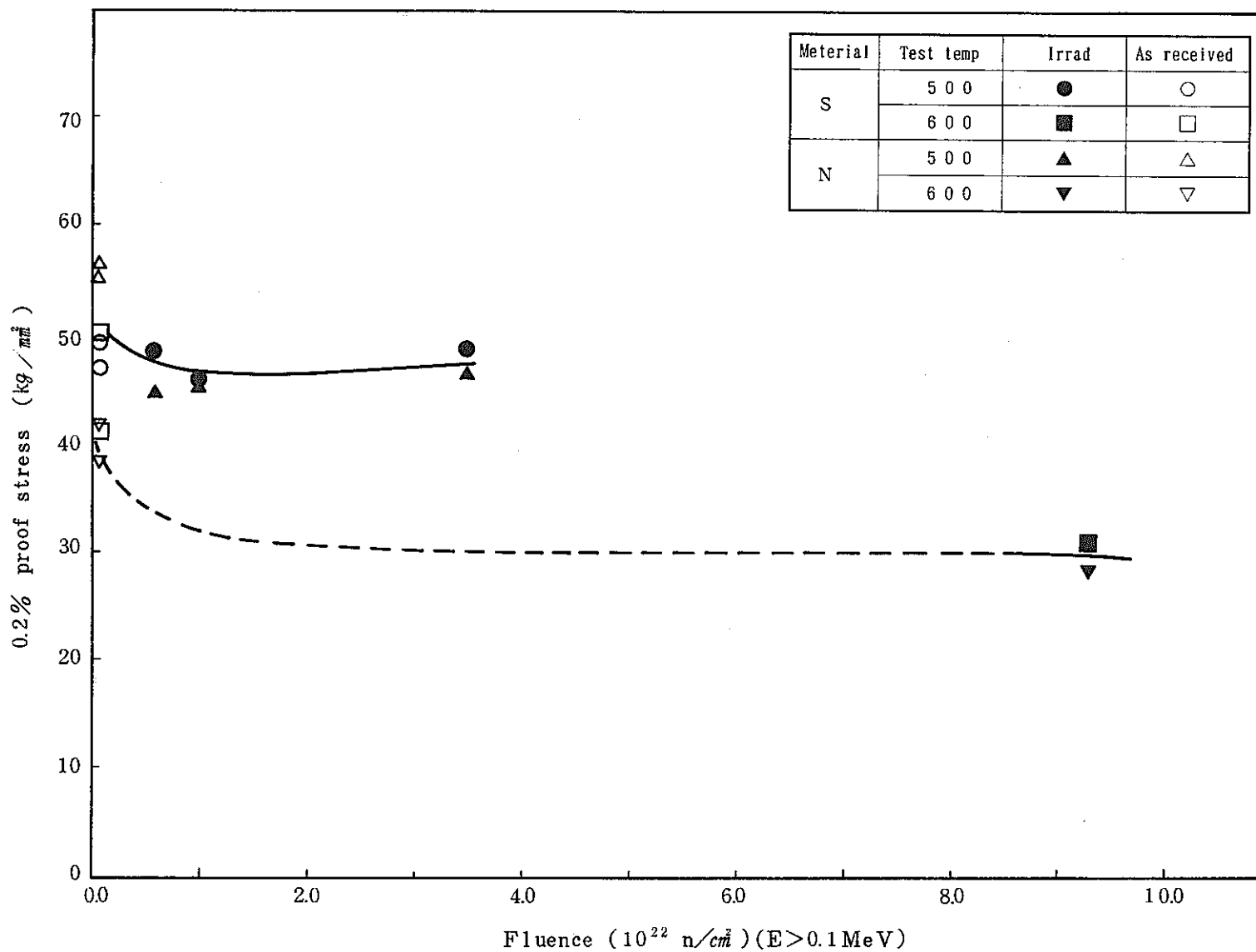


Fig.18 0.2% yield strength of irradiated wrapper tubes at 500°C and 600°C as a function of fast neutrom fluence (Phenix-P2).

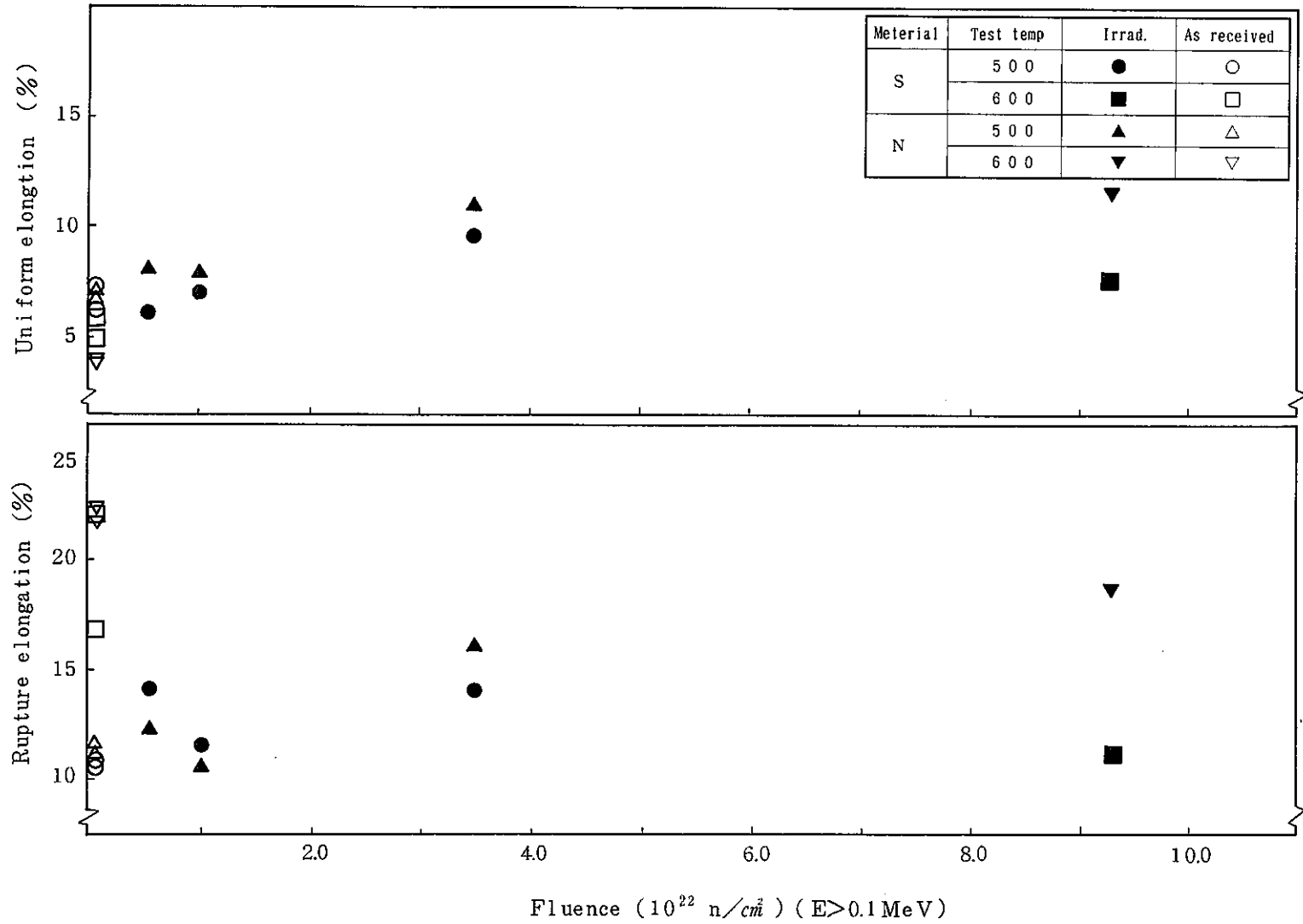


Fig.19 Elongation of irradiated wrapper tubes at 500°C and 600°C as a function of fast neutron fluence (Phenix-P2).

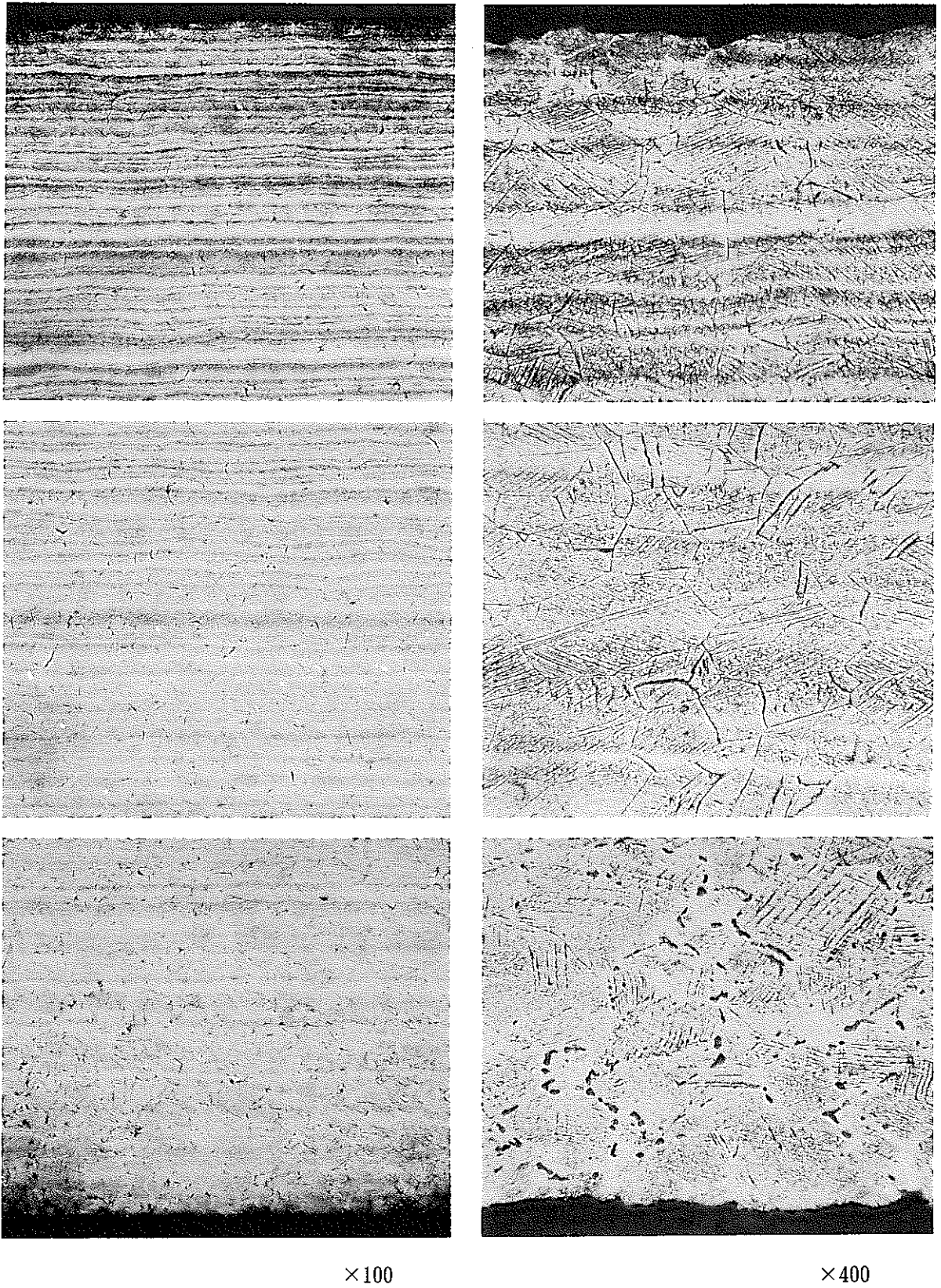


Fig. 20 Optical micrographs of tensile specimen irradiated to a neutron fluence of $9.3 \times 10^{22} \text{ n/cm}^2 (E > 0.1 \text{ MeV})$ (ZD2KS11).

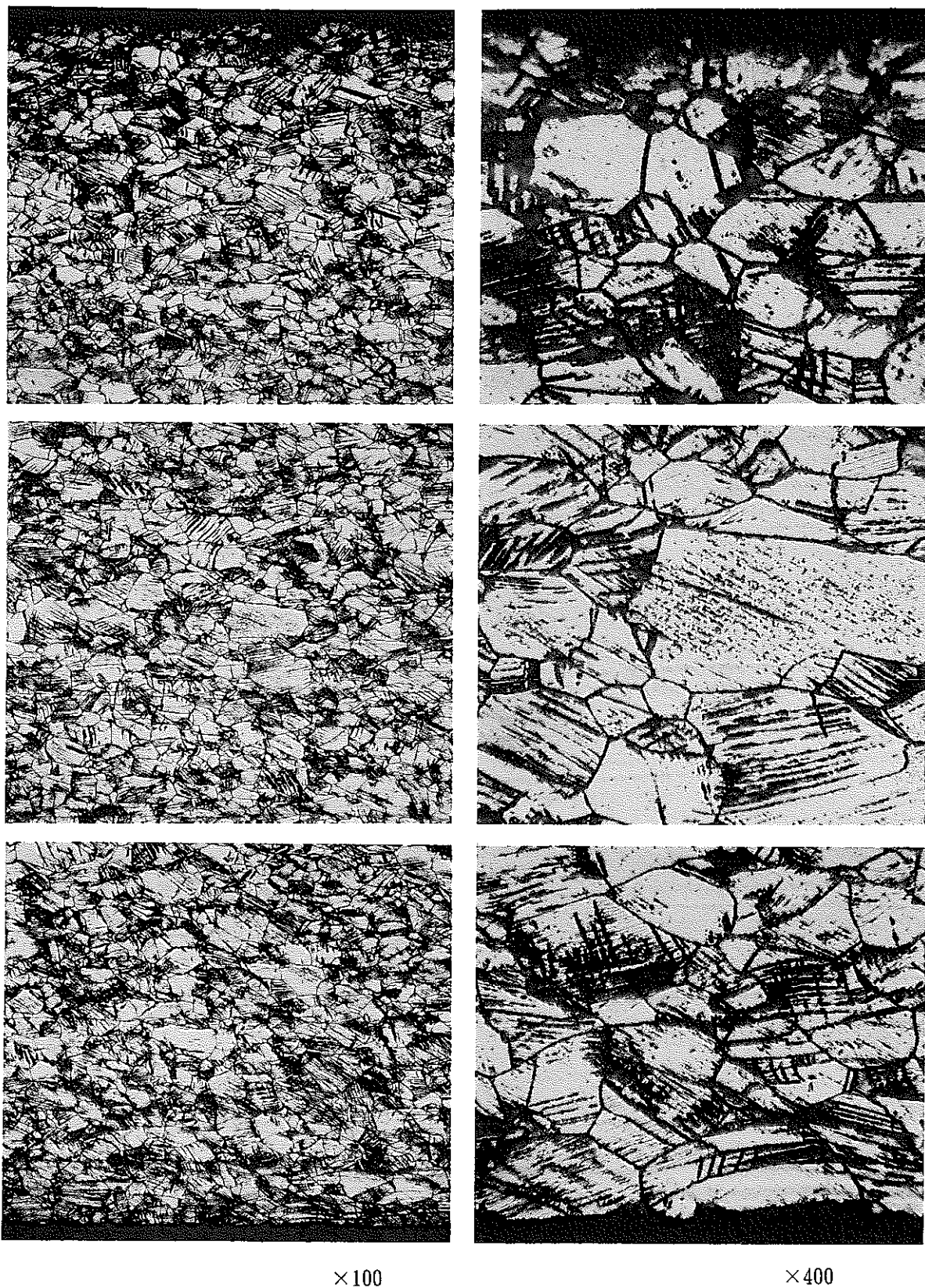


Fig.21 Optical micrographs of tensile specimen irradiated to a neutron fluence of $3.5 \times 10^{22} \text{ n/cm}^2 (E > 0.1 \text{ MeV})$ (ZD2MN21).

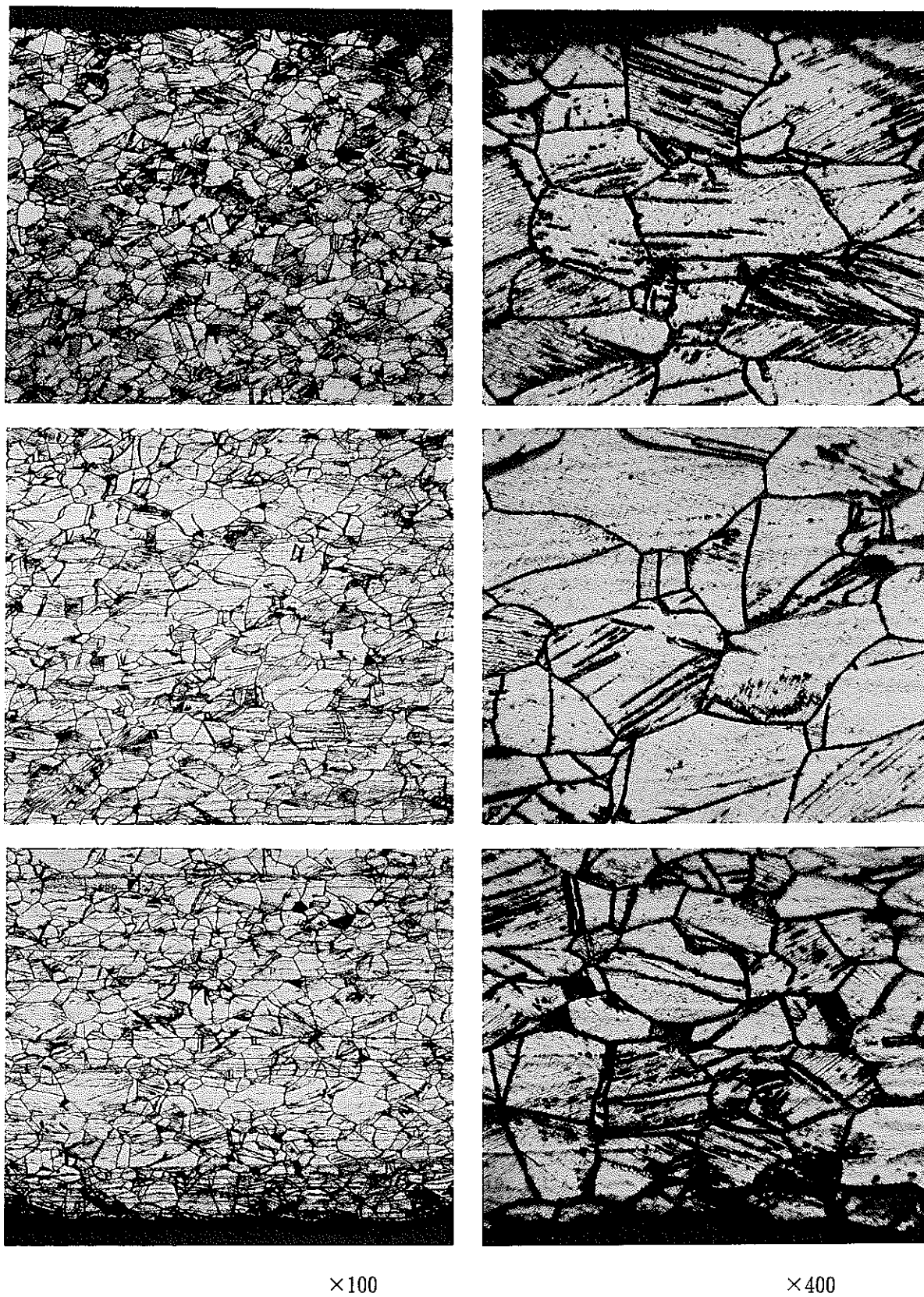


Fig.22 Optical micrographs of tensile specimen irradiated to a neutron fluence of $3.5 \times 10^{22} \text{ n/cm}^2$ ($E > 0.1 \text{ Mev}$) (ZD2MN31).

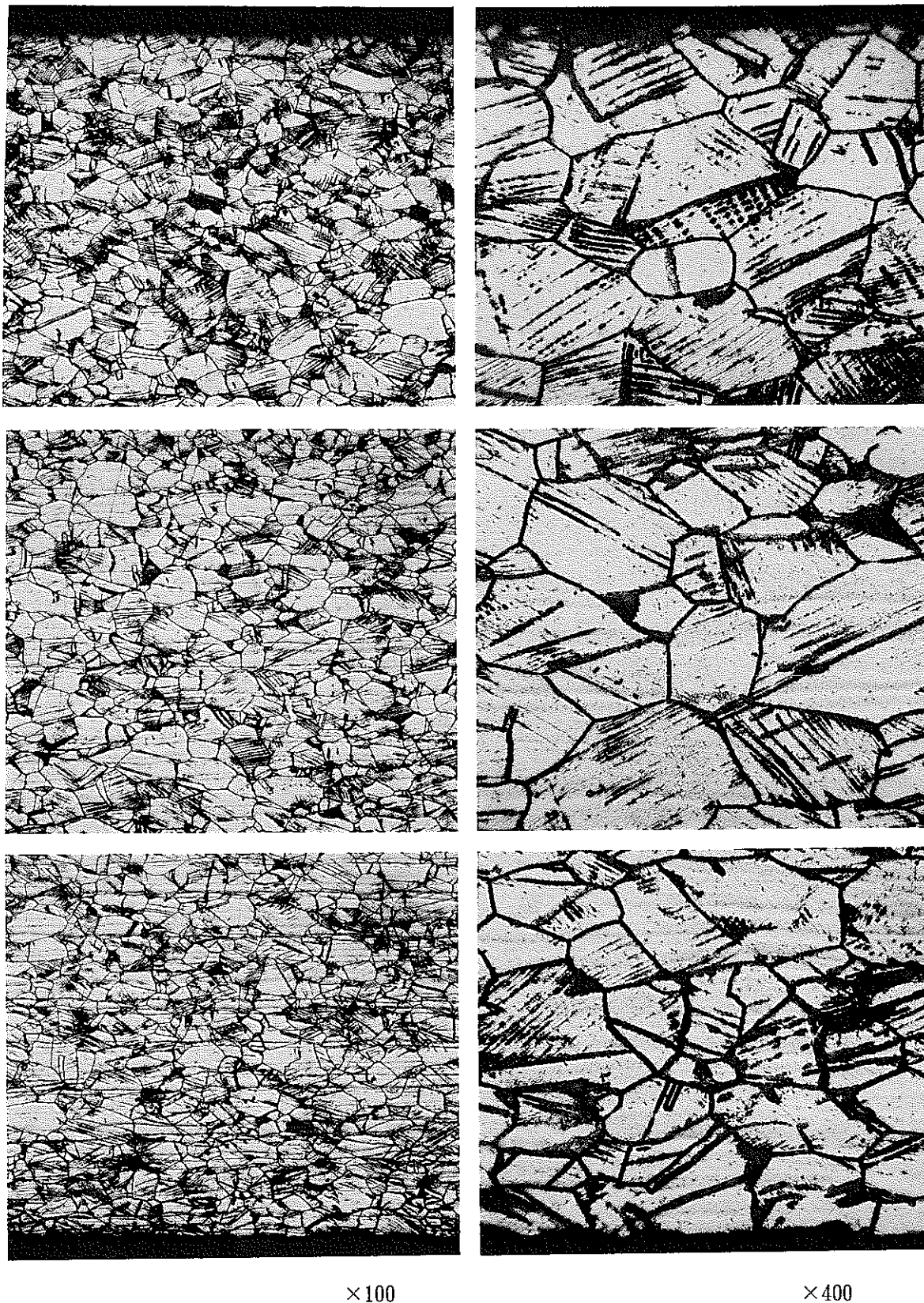


Fig. 23 Optical micrographs of tensile specimen irradiated to a neutron fluence of $1.0 \times 10^{22} \text{ n/cm}^2$ ($E > 0.1 \text{ Mev}$) (ZD20N41).

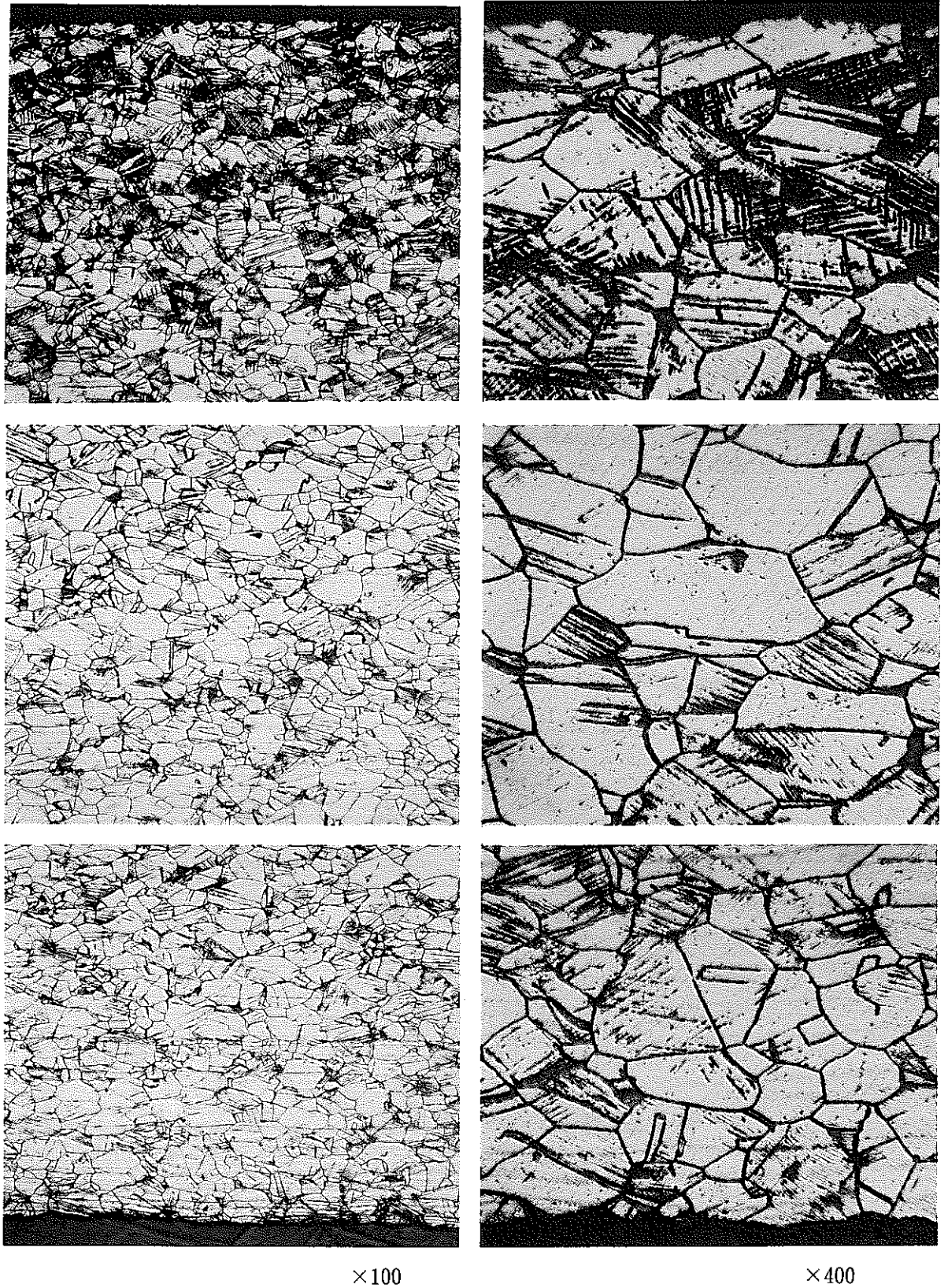


Fig.24 Optical micrographs of tensile specimen irradiated to a neutron fluence of $1.0 \times 10^{22} \text{ n/cm}^2$ ($E > 0.1 \text{ MeV}$) (ZD20S51).

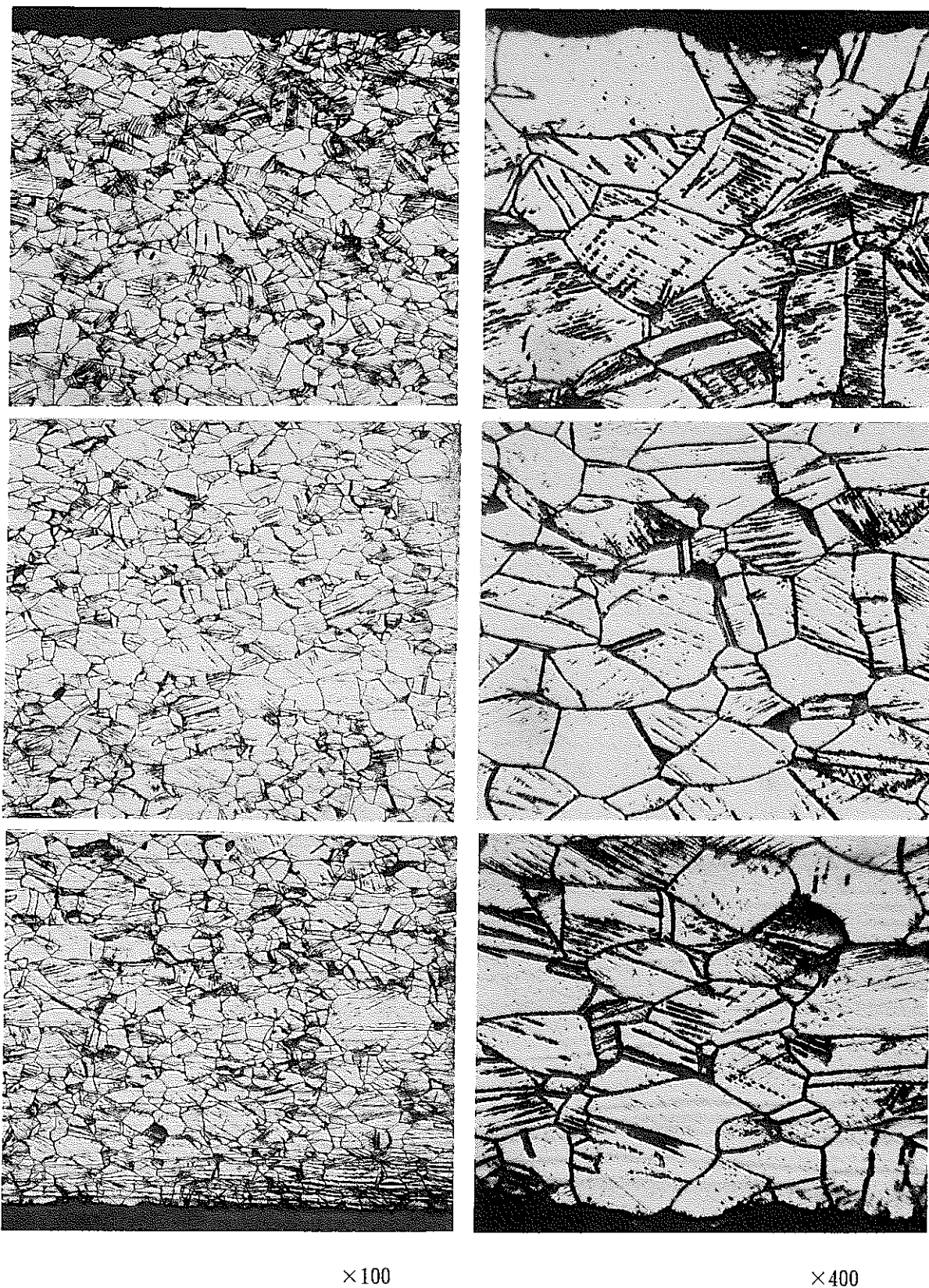
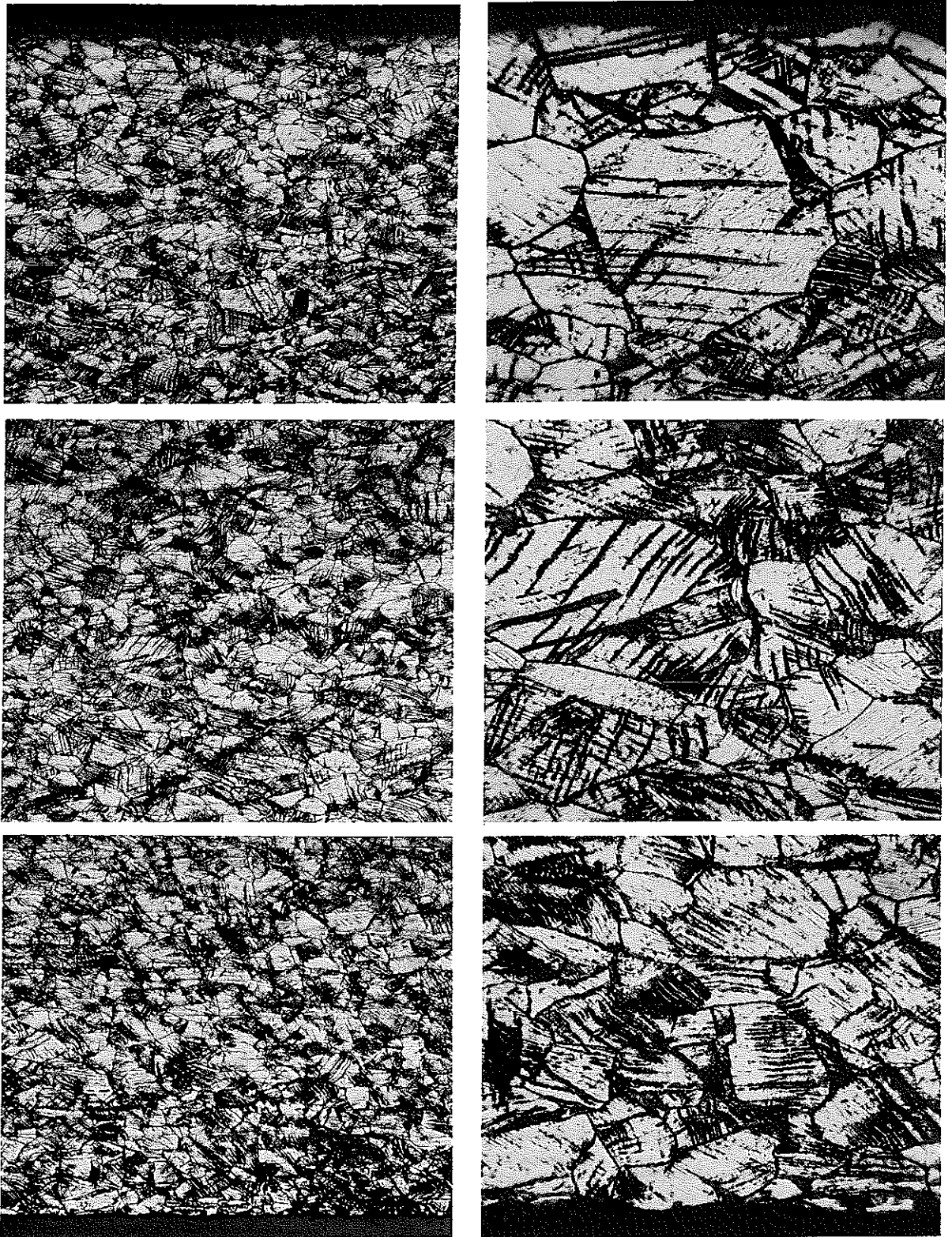


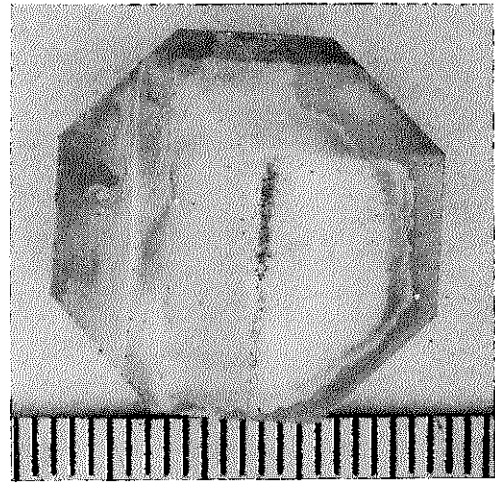
Fig. 25 Optical micrographs of tensile specimen irradiated to a neutron fluence of $0.6 \times 10^{22} \text{ n/cm}^2 (E > 0.1 \text{ MeV})$ (ZD2QN61).



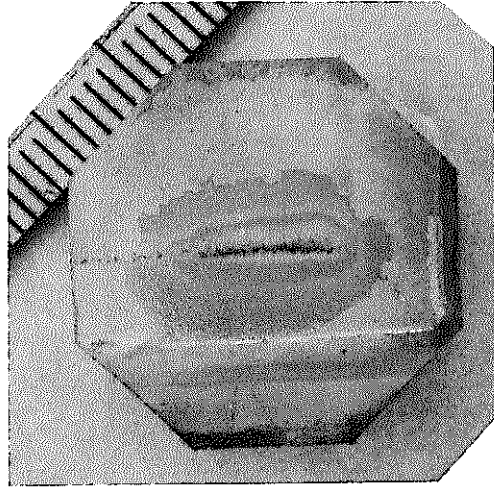
×100

×400

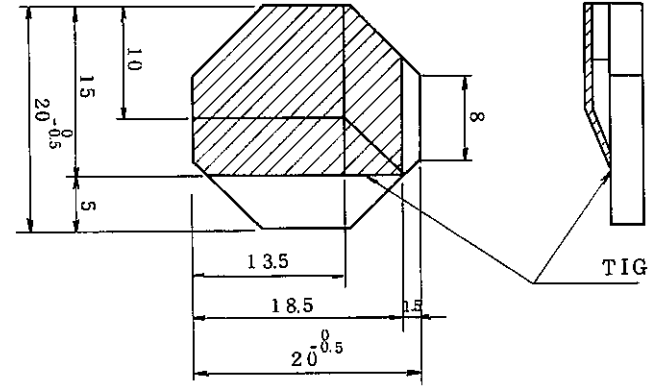
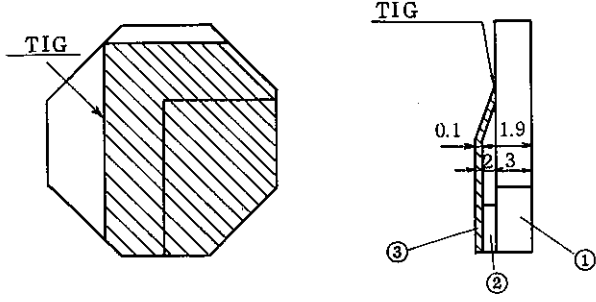
Fig.26 Optical micrographs of tensile specimen irradiated to a neutron fluence of $0.6 \times 10^{22} \text{ n/cm}^2$ ($E > 0.1 \text{ MeV}$) (ZD2QS71).



ZD2LC1

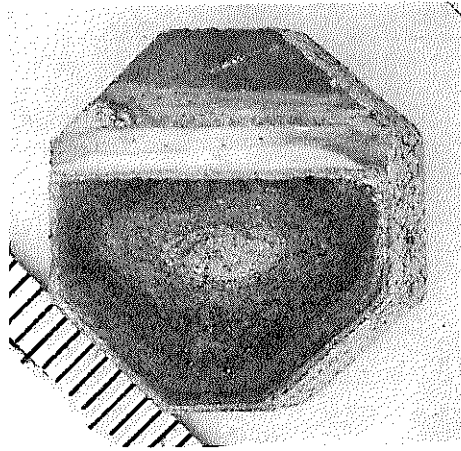


ZD2LC3

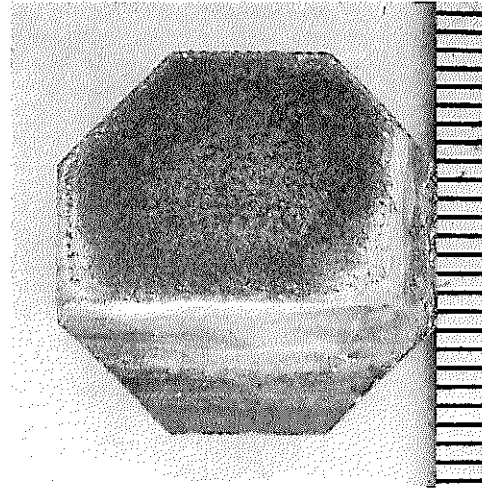


③	COATING MATERIAL	LC-1C
②	BASE PLATE	AISI 316
①	BASE PLATE(WRAPPER TUBE)	AISI 316
ITEM	NAME	MATERIAL

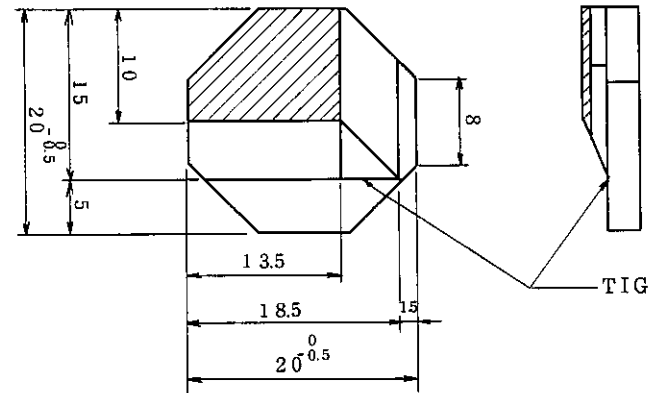
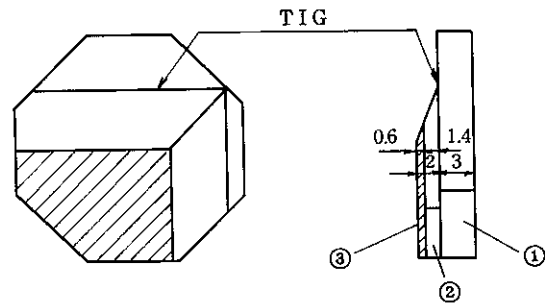
Fig.27 View of irradiated pad specimens(LC-1C).



ZD 2 LM5



ZD 2 LH7



③	COATING MATERIAL	Colmonoy No. 6
②	BASE PLATE	AISI 316
①	BASE PLATE(WRAPPER TUBE)	AISI 316
ITEM	NAME	MATERIAL

Fig.28 View of irradiated pad specimens(Colmonoy No.6).

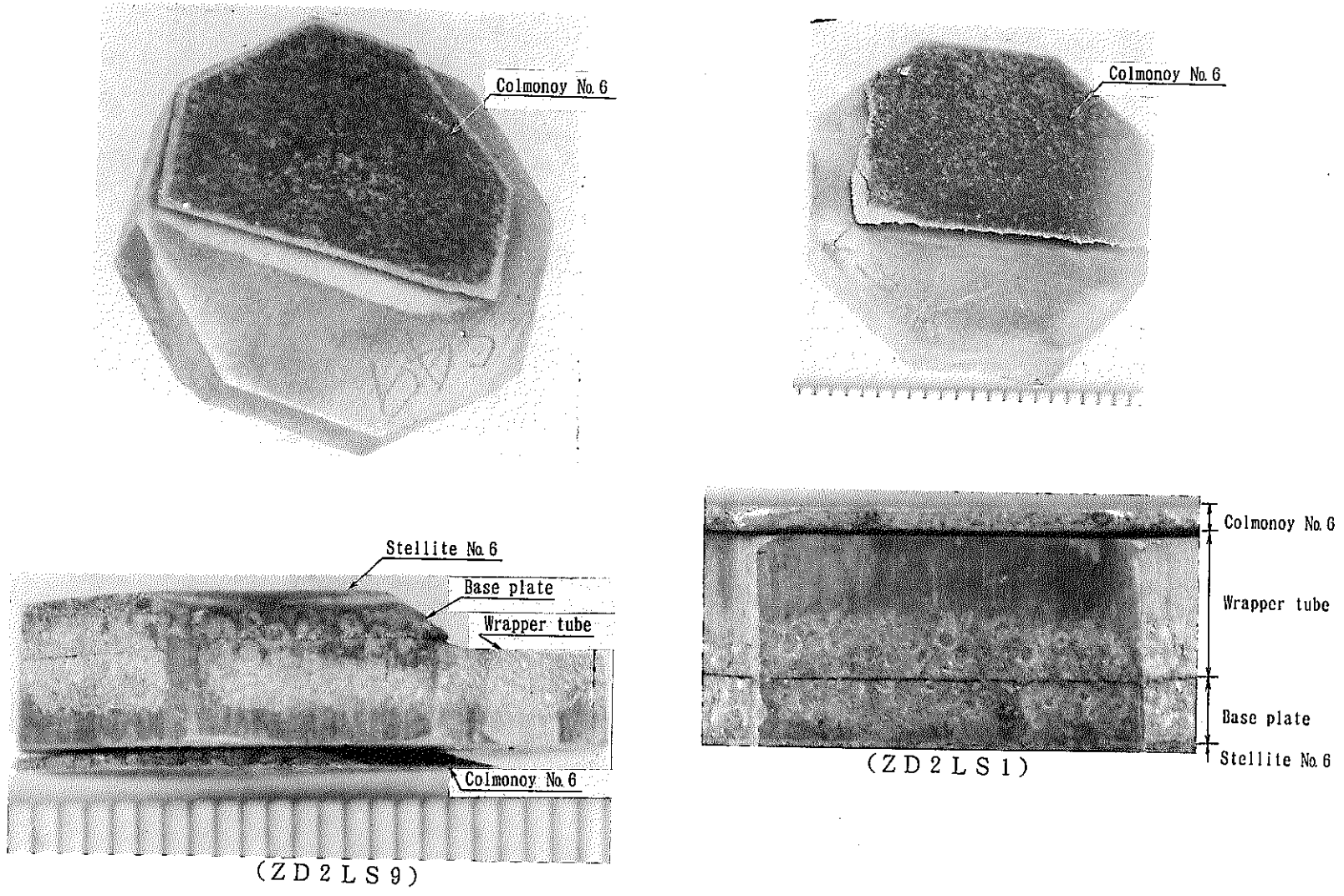
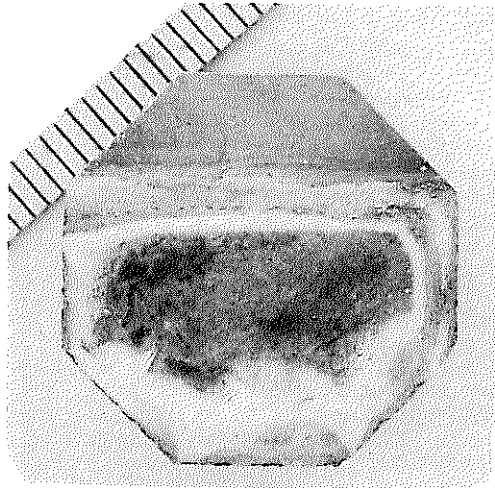
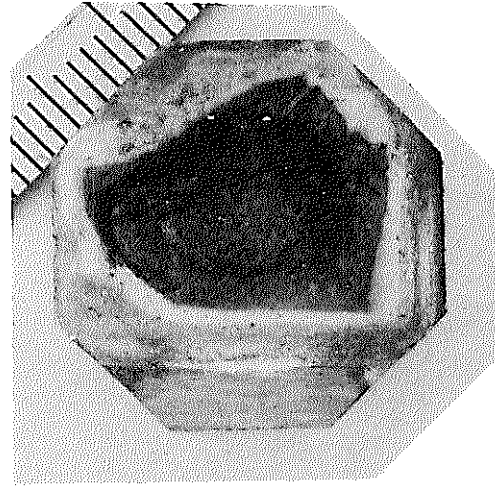


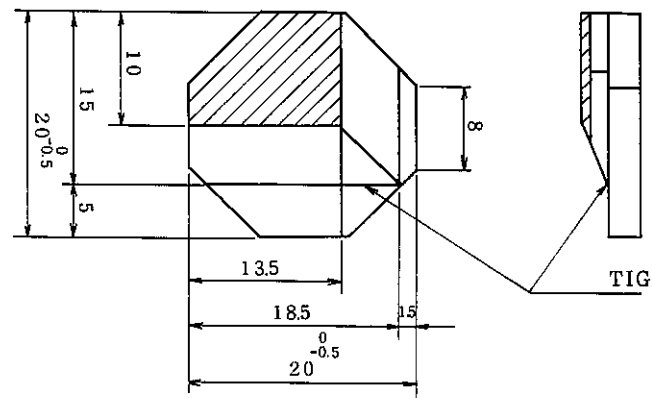
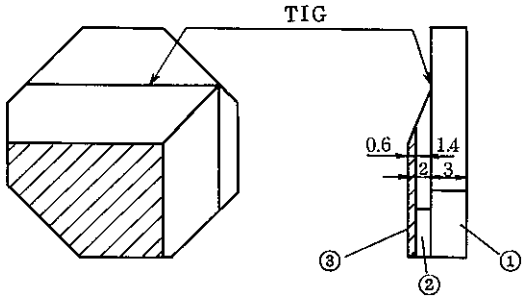
Fig. 29 View of colmony specimens adhered to stellite specimens.



ZD2LS9

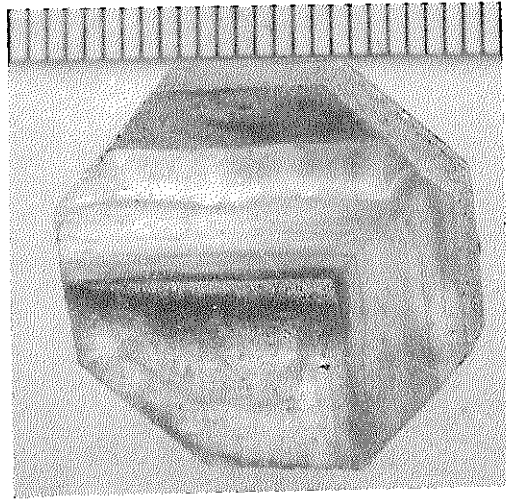


ZD2LS1

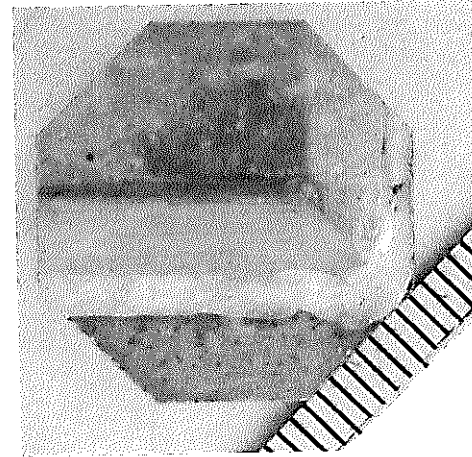


③	COATING MATERIAL	Stellite No. 6
②	BASE PLATE	AISI 316
①	BASE PLATE(WRAPPER TUBE)	AISI 316
ITEM	NAME	MATERIAL

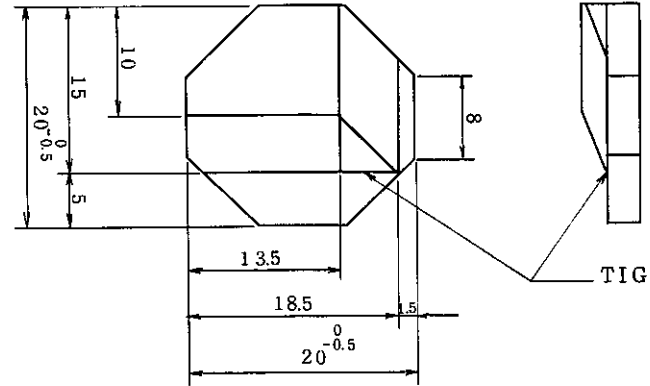
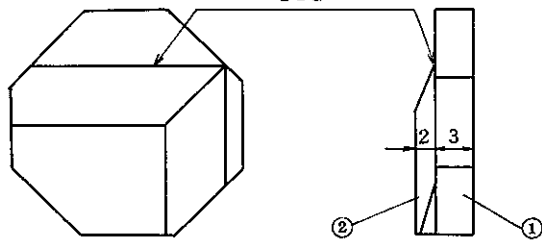
Fig. 30 View of irradiated pad specimens(Stellite No. 6).



ZD2LI3
TIG

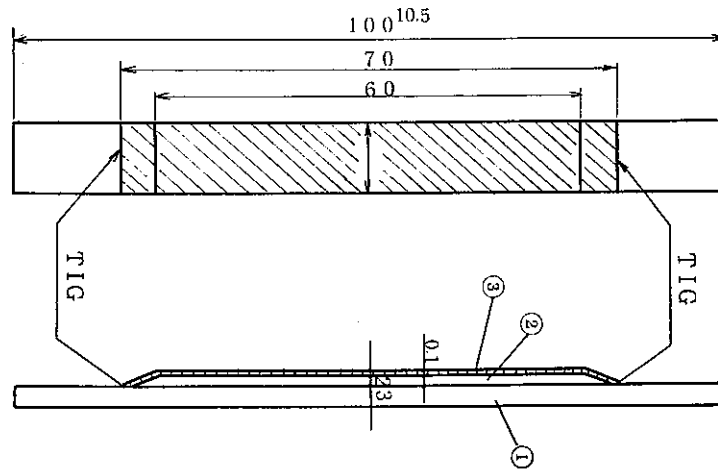


ZD2LI5



②	WEAR PAD	Inconel 718
①	BASE PLATE(WRAPPER TUBE)	AISI 316
ITEM	NAME	MATERIAL

Fig.31 View of irradiated pad specimens(Inconel 718).



③	COATING MATERIAL	LC-1C	1	
②	BASE PLATE	AISI 316	1	
①	BASE PLATE(WRAPPER TUBE)	AISI 316	1	
ITEM	NAME	MATERIAL	SUPL. NO.	REMARKS

ZD2NC9

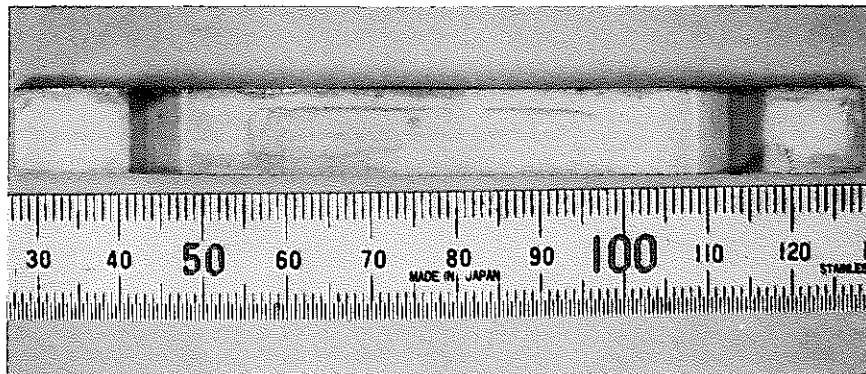
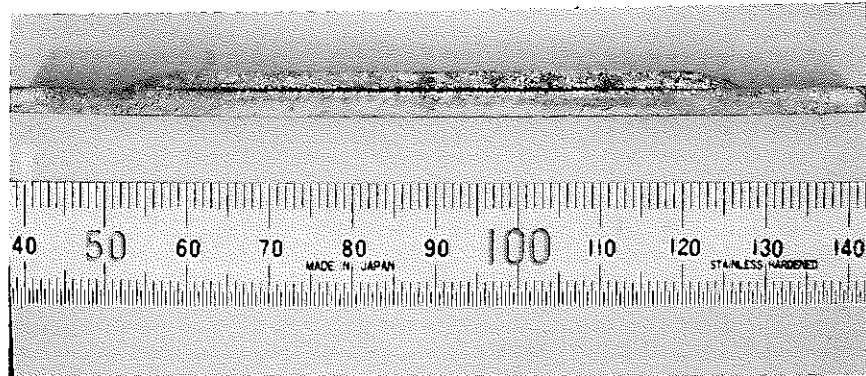
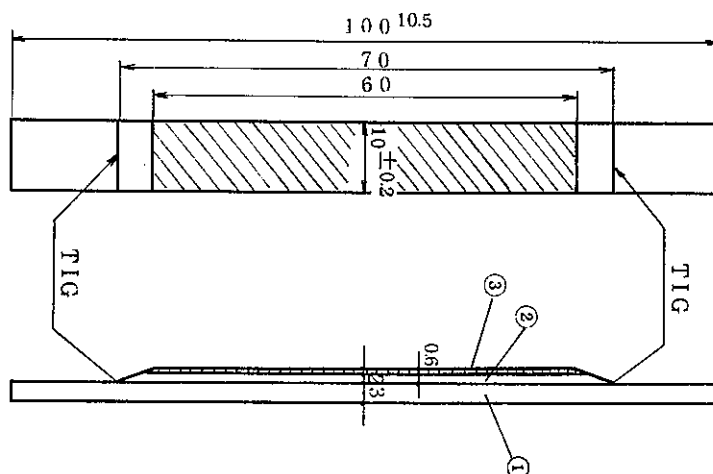


Fig.32 View of irradiated pad oblong shaped specimens(LC-1C).



③	COATING MATERIAL	Colmonoy No. 6	1	
②	BASE PLATE	AISI 316	1	
①	BASE PLATE(WRAPPER TUBE)	AISI 316	1	
ITEM	NAME	MATERIAL	SUPL. NO.	REMARKS

Z D 2 N M 4

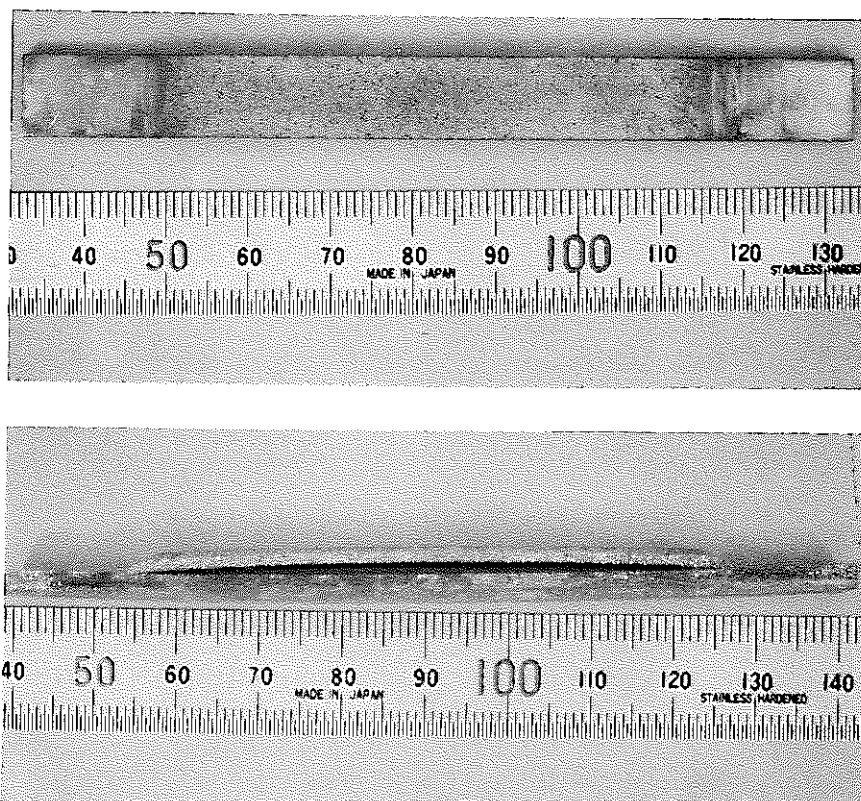
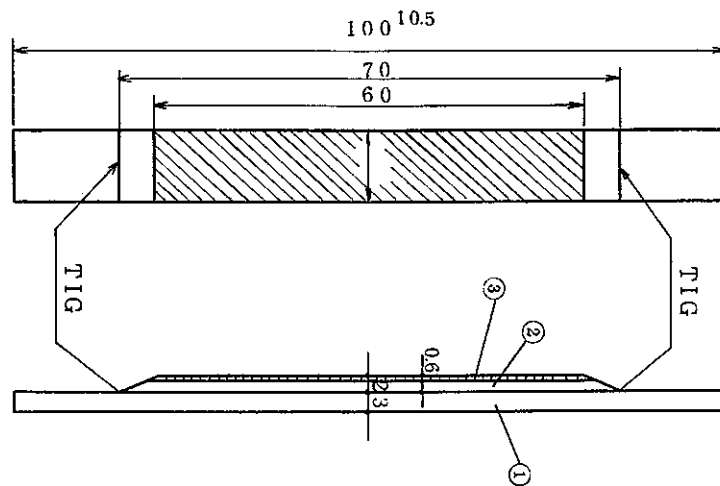


Fig.33 View of irradiated pad oblong shaped specimens(Colmonoy No.6).



③	COATING MATERIAL	Stellite No. 6	1	
②	BASE PLATE	AISI 316	1	
①	BASE PLATE(WRAPPER TUBE)	AISI 316	1	
ITEM	NAME	MATERIAL	SUPL. NO.	REMARKS

ZD 2 NS 7

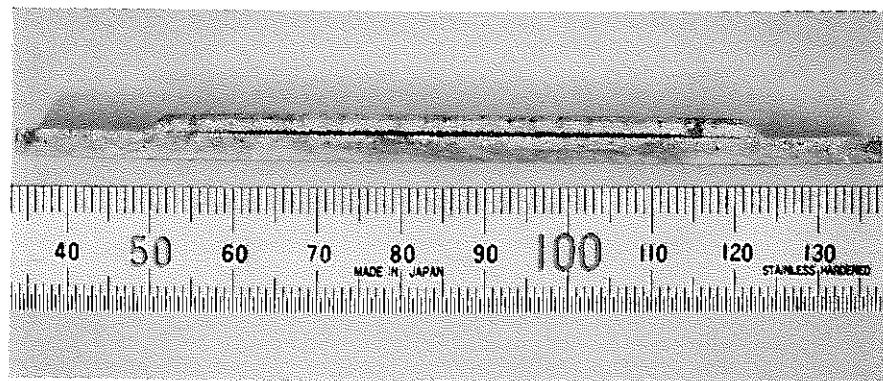
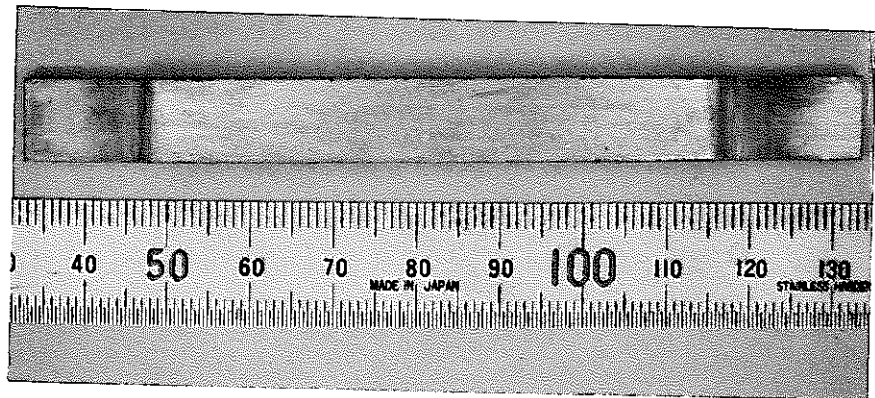
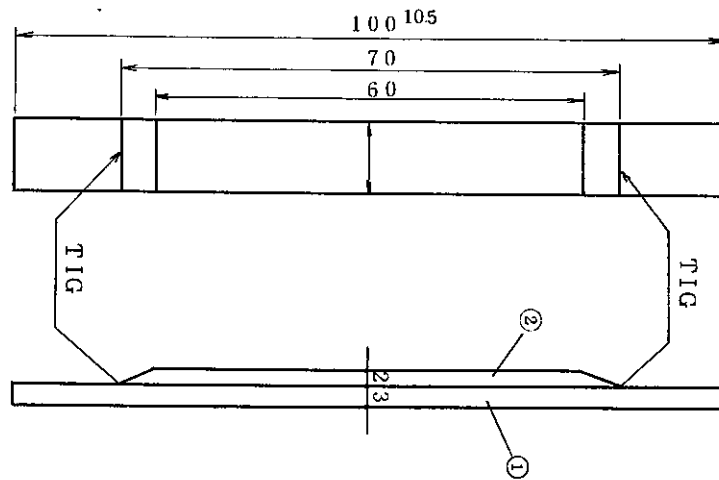


Fig.34 View of irradiated pad oblong shaped specimens(Stellite No.6).



②	WEAR PAD	Inconel 718	1	
①	BASE PLATE(WRAPPER TUBE)	AISI 316	1	
ITEM	NAME	MATERIAL	SUPL. NO.	REMARKS

Z D 2 N I 1

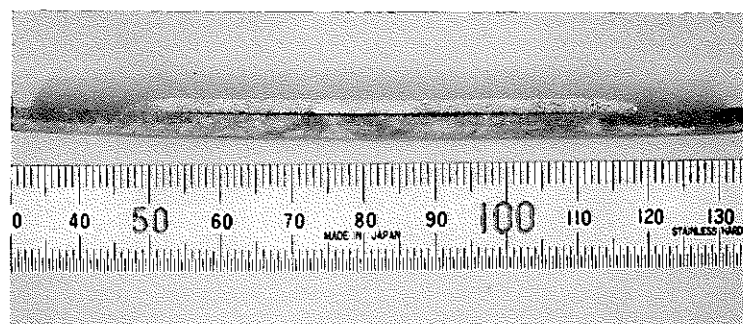
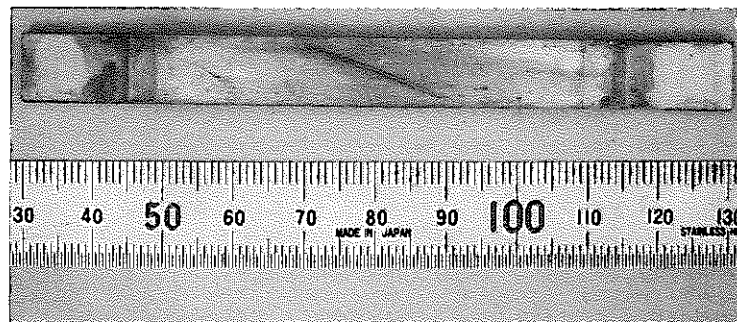
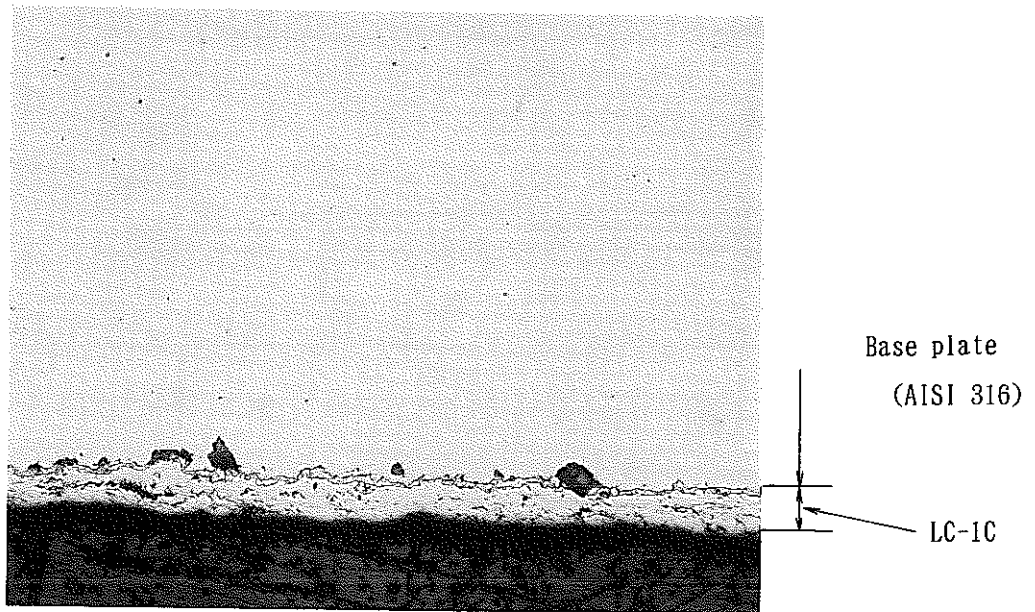
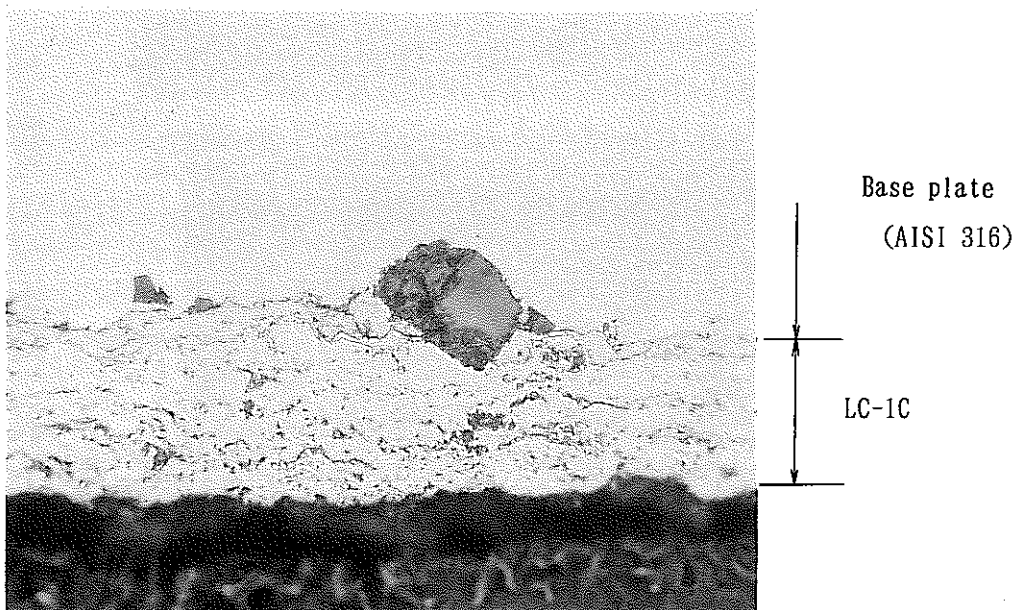


Fig.35 View of irradiated pad oblong shaped specimens(Inconel 718).



As Etched($\times 100$)



As Etched($\times 400$)

Fig. 36 Optical micrographs of pad specimens (LC-1C).

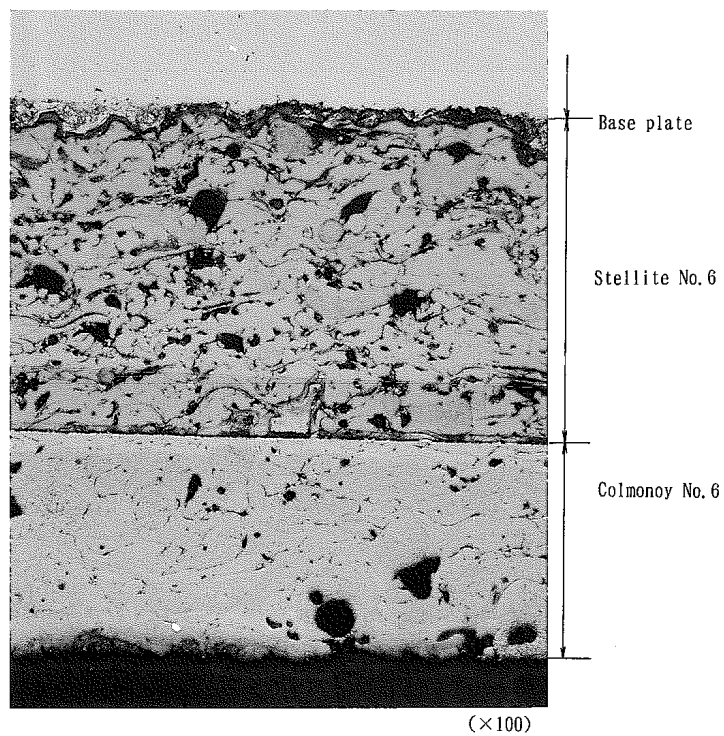
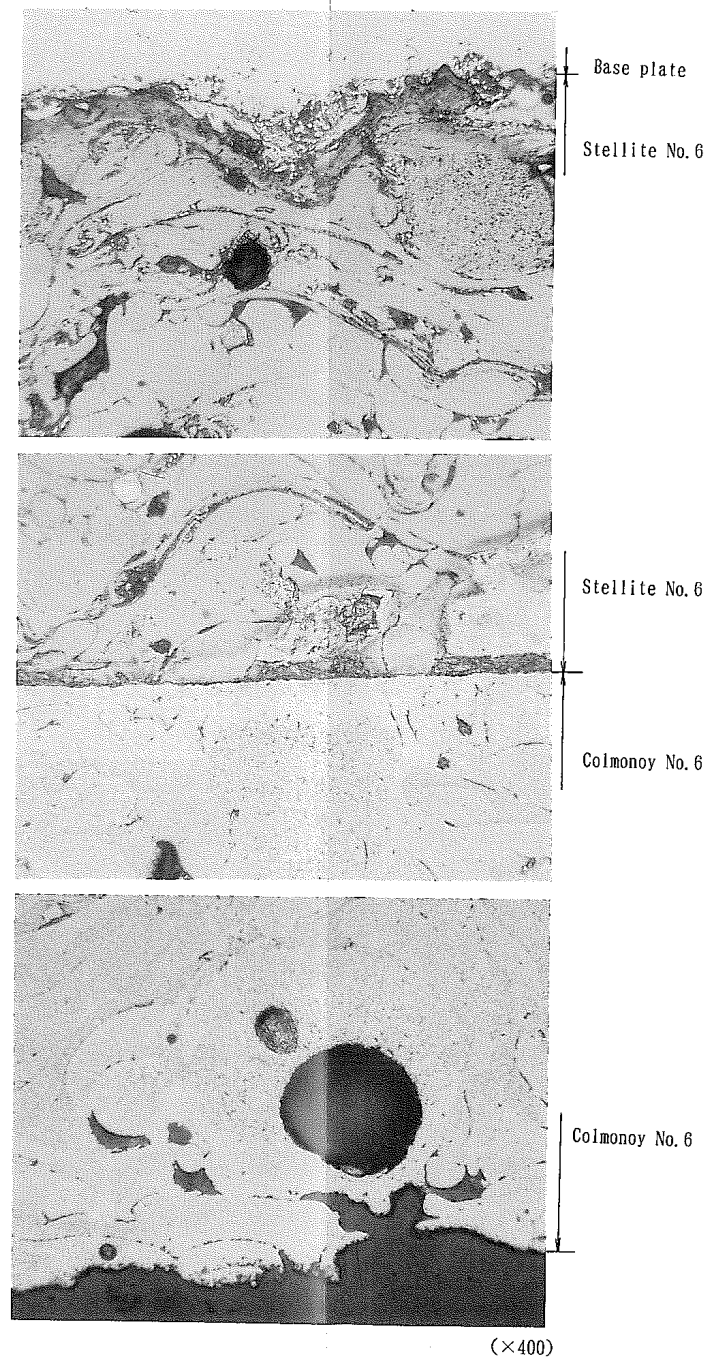


Fig.37 Optical micrographs of pad specimens (Stellite No.6, Comonoy No.6).



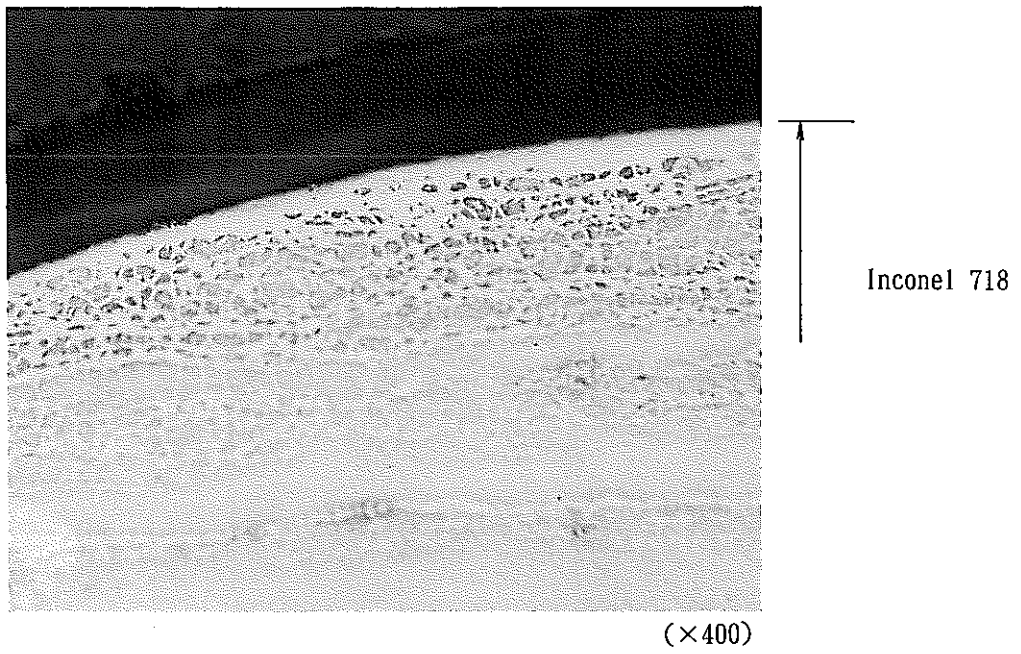
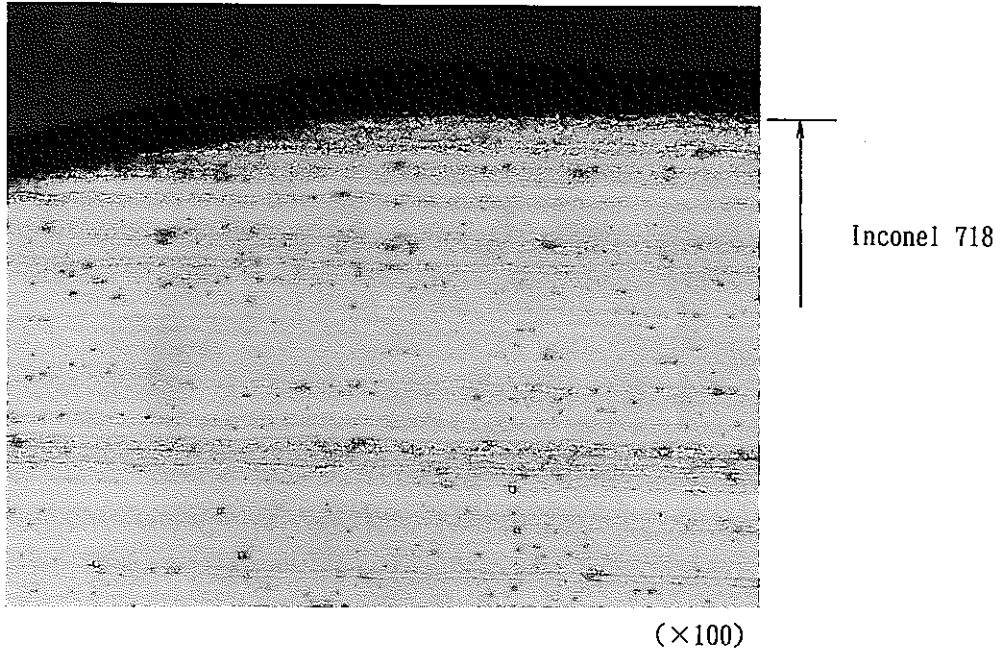


Fig. 38 Optical micrographs of pad specimens (Inconel 718).

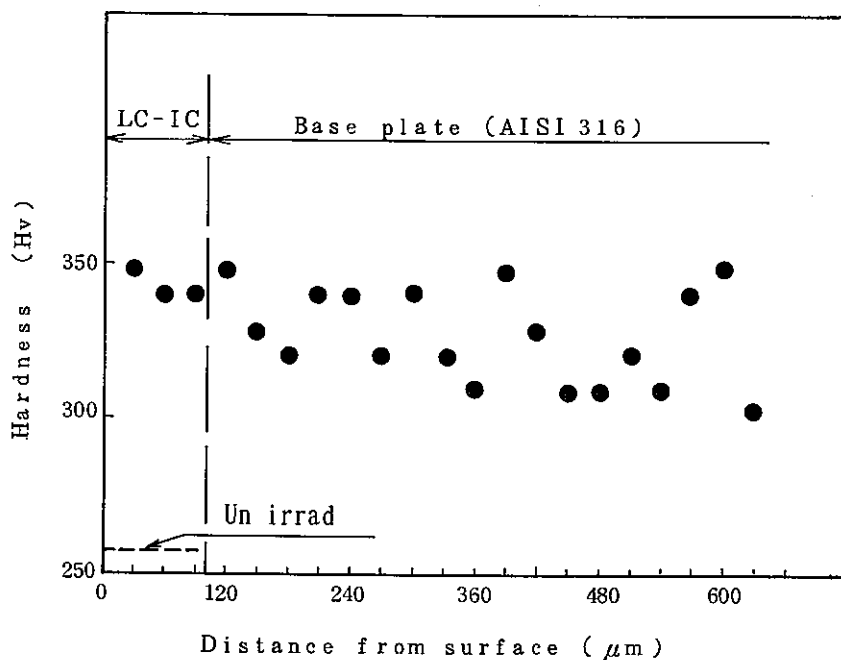


Fig.39 Micro vickevs hardness of pad specimens(LC-1C).

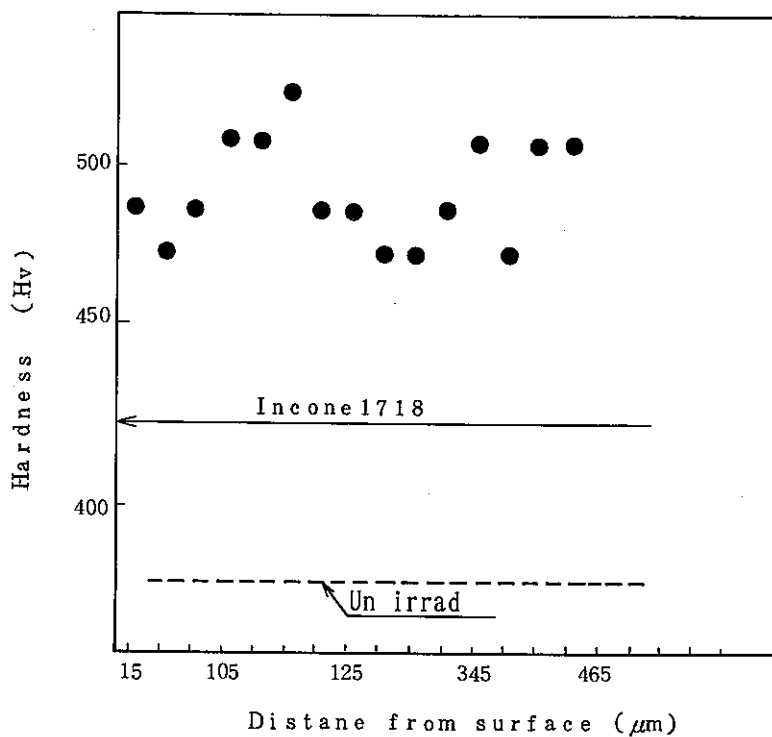


Fig.40 Micro vickevs hardness of pad specimens(Inconel 718).

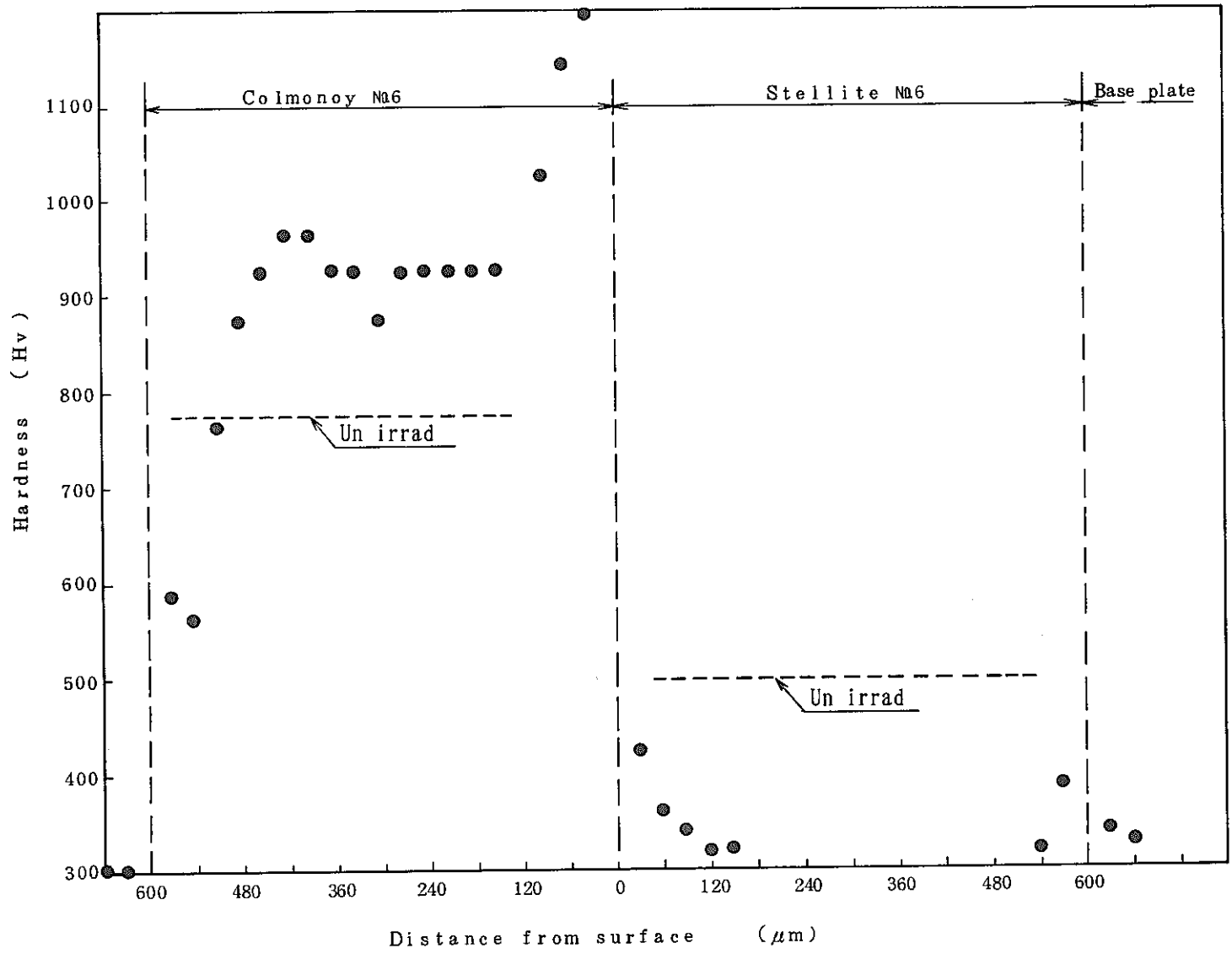


Fig.41 Micro vickers hardness of pad specimens(Comonoy No.6 and Stellite No.6).