

JAERI-M

6 3 5 5

高温ガス炉用耐熱合金の金相試験

(照射後試験技術と顕微鏡組織)

1976年1月

木崎 実・酒井陽之・須藤健次・宇井泰紀・大内正博

この報告書は、日本原子力研究所が JAERI-M レポートとして、不定期に刊行している研究報告書です。入手、複製などのお問い合わせは、日本原子力研究所技術情報部（茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。

JAERI-M reports, issued irregularly, describe the results of research works carried out in JAERI. Inquiries about the availability of reports and their reproduction should be addressed to Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan.

高温ガス炉用耐熱合金の金相試験
(照射後試験技術と顕微鏡組織)

日本原子力研究所大洗研究所材料試験炉部

木崎 実・酒井陽之・須藤健次

宇井泰紀・大内正博

(1975年12月11日受理)

高温ガス炉の構造材料候補材であるハステロイ X, インコネル600, インコネル625, インコネルX750, インコロイ800, インコロイ807 に対する照射後金相試験の経験について述べ, 試料調製技術のうち特にエッチング方法を確立した。各材料はいずれも800°Cから1,000°Cの高温照射後, 室温および高温で引張試験を行なったものであり, それぞれの顕微鏡組織については照射前処理, 照射条件, 引張試験温度により分類して説明した。改良されたエッチング方法により各材料とも明瞭な顕微鏡組織が得られ, 照射中あるいは照射後の機械的変形中に生じた現象の解析に多くの情報を与えた。

Micrography for Heat-resisting Alloys of HTGR
(Post-irradiation Examination and Microstructures)

Minoru KIZAKI, Haruyuki SAKAI, Kenji SUDO,
Yasunori UI and Masahiro OHUCHI

Hot Laboratory, Division of JMTR Project, Oarai, JAERI

(Received December 11, 1975)

The post-irradiation micrography for heat-resisting alloys of HTGR are described, which include Hastelloy X; Inconel 600, 625 and X750; and Incoloy 800 and 807. An etching technique was developed for the purpose. As candidates for the experimental VHTR (Very High Temperature Reactor), the alloys were irradiated in JMTR (Japan Material Testing Reactor) at temperatures between 800°C-1000°C, which was followed by post-irradiation examination in the hot laboratory. Microstructures of the alloys are given for the respective test conditions of pre-irradiation treatment, irradiation and tensile test temperature. The improved etching method enabled interpretation of the phenomena during irradiation and in post-irradiation mechanical test.

目 次

1. まえがき	1
1.1 試料調製の重要性	1
1.2 エッチング条件の決定	1
2. 耐熱合金の顕微鏡組織	2
2.1 ハステロイXの高温引張組織	2
2.1.1 溶体化処理材	2
2.1.2 時効材	3
2.1.3 冷間加工後時効材	3
2.1.4 溶接材	3
2.1.5 Ti添加材	4
2.1.6 Zr, Ce添加材	4
2.2 インコネル系合金の高温引張組織	4
2.2.1 インコネル600	4
2.2.2 インコネル625	4
2.2.3 インコネルX750	5
2.3 インコロイ系合金の高温引張組織	5
2.3.1 インコロイ800	5
2.3.2 インコロイ807	5
2.4 ハステロイXおよびインコロイ800の非照射材組織	6
2.4.1 ハステロイX	6
2.4.2 インコロイ800	6
3. 耐熱合金のエッチング	6
4. あとがき	7
参考文献	7

1. ま え が き

一般の金属材料の研究の方法の中で金属組織の観察による解析，すなわち金相試験 (Metallographic Examination) は古典的なものに属するが，その基本的重要性は依然として大きい。中性子照射を受けた材料のホットラボにおける試験においてもこの事情はほぼ同様であるが，試料が様々なプロセスを経たきわめて貴重なものであること，遠隔操作であること等の理由から金相試験のもつ意義と重要性は一般の場合よりはるかに大きいと言うべきである。

ホットラボ試験の場合には遠隔操作を主とする作業であると言うことで，ややもするとコールド試験よりも低い技術でも仕方がないと言う気持ちが支配する場合が少なくないが，それは逆に，試験の精度を可能なかぎり高めて限られた事例から最大限の情報を引き出そうと努力することが大切である。

本報は最近ようやく活性化してきた高温原子炉用の金属材料の照射脆化の研究を支援推進するために，大洗研究所ホットラボが行なってきた活動の中で特に多目的高温ガス実験炉用の構造材料候補材の照射後金相試験に当って蓄積した技術的経験を述べるためにまとめたものである。

1.1 試料調製の重要性

一般に合金の金属組織検査には適切なサンプル摘出，切断の手順と検査目的に応じた表面研磨および腐食 (Metallographic Etching，以後エッチングと称す) 操作が必要である。きわめて標準的に用意された合金を除けば，この一連の操作は画一的に行なって成功することはまれである。まして種々の熱処理，照射を中心とした高温の加熱保持，照射後の引張試験などの機械的変形を経たあとでそれぞれの対象物の組織解析に適合した研磨とエッチングをほどこすことは容易なことではない。多くは基本的な条件 (出発条件) をもとにして試行錯誤の手順を踏んで確立しなければならない部分を含むから，多種多様の組成や履歴をもつ材料についてまとまった手順を確立するためには多大な努力と年月を要することになる。

ここに述べる結果は多分に経験を中心にしたものであるが，今後の高温炉，特に高温ガス炉ならびに核融合炉の開発の基本的条件となる材料技術の少なからぬ部分が中性子照射問題であることや，今後の照射後試験が多様化して来ることを考えると，高度の金相試験技術を育成しておくことの重要性は大きいと考えられる。

1.2 エッチング条件の決定

照射後の金相試験にあたり最も注意を要するのはエッチング条件である。耐熱合金の試料調製およびエッチングに関する文献^{1)~7)}はいくつかあるが，それらは単に一例にすぎず試料の履歴がわずかに異なると条件の変更を余儀なくされるものが多い。特に各種の耐熱合金の高温照射後のエッチング条件について述べた文献は見あたらない。

エッチング技術においては，あらゆる合金に共通なエッチング液および条件を発見することはほとんど不可能である。しかし，一つ一つの合金に対して個々に試行錯誤によりこれらを見出していたのでは，場合によっては一つの条件を見出すのに数ヶ月を費すことにもなり非常に非能率である。それゆえ今回は耐熱合金に対してエッチング条件の共通点の発見につとめてみ

た。

セル内で強い酸性の溶液を用いる化学エッチング法は内装機器への悪影響のためできるだけ避けねばならないので、すべて電解法で解決することを試みたが、インコネル625、X750 およびインコロイ807 については観察面に対して均一なエッチングが困難で端部（引張試験片の破断部等）のみが選択的に侵食されるなどの理由によりどうしても電解法の条件を見出すことができなかった。しかし、他の合金については電解法にて、エッチング条件を変えるだけで完全な顕微鏡写真撮影のできる共通のエッチング液を見出すことができた。

ここで扱った合金はいずれも引張試験片として照射し、ホットセル内で照射後引張試験を行なったのち、その破断部近傍から金相試験片を採取、埋込み、研磨、エッチングを行ない顕微鏡写真撮影を行なった。撮影位置は破断部と、そこから約6 mm 離れた定常変形部とである。各種合金の照射材のほか非照射材についても電解、化学の両法を試み適当な条件を検討したのでその結果もあわせて報告する。

2. 耐熱合金の顕微鏡組織

高温ガス炉の近似条件で照射した材料の照射損傷は、その成分中に微量に含まれるBの熱中性子との核変換反応に起因するHe 脆化によるものとされている。中性子照射による金属組織変化については、ステンレス鋼で炭化物析出などの例も報告されているが、⁸⁾ここで報告する極めて高温における照射では、光学顕微鏡で観察するかぎり照射量と組織の間にはっきりした相関性はみられない。むしろ照射温度あるいは照射後引張温度が組織を決定していると考えられる。

ハステロイ、インコネル、インコロイ等各種耐熱合金の非照射材の伸びは、約800°C 以上では試験温度の上昇に伴って増加する。しかし、照射材ではFig. 1で明らかのように高温になるほど伸びの低下が著しい。1000°Cでの伸びは非照射材の1/10以下である。このような機械的性質の低下が各種合金のマイクロ組織にどのように対応しているか、あるいはどのような破断モードをとっているかを明らかにすることに顕微鏡観察の重要性がある。各種耐熱合金の顕微鏡組織は以下に述べる通りであるが、いずれの合金も高温真空引張試験時の破断モードは粒界型であった。

Table 1 に各合金の化学組成規格、Table 2 に試料履歴と写真番号、Photo 1~51に各種合金の引張試験片破断部と破断部から約6 mm 離れた定常変形部の組織を示した。

2.1 ハステロイXの高温引張組織

2.1.1 溶体化処理材 (Photo 1~7)

Photo 1~5は鍛造材組織であるが、試料の熱間加工方向に沿って未溶解炭化物が層状に析出している。これは溶体化処理温度でも安定な M_6C ⁹⁾¹⁰⁾で、その析出量の多少は製造ロットによる相違である。しかし、Photo 6, 7の圧延材試料では、少量の未溶解炭化物がランダムに存

た。

セル内で強い酸性の溶液を用いる化学エッチング法は内装機器への悪影響のためできるだけ避けねばならないので、すべて電解法で解決することを試みたが、インコネル625, X750 およびインコロイ807 については観察面に対して均一なエッチングが困難で端部(引張試験片の破断部等)のみが選択的に侵食されるなどの理由によりどうしても電解法の条件を見出すことができなかった。しかし、他の合金については電解法にて、エッチング条件を変えるだけで完全な顕微鏡写真撮影のできる共通のエッチング液を見出すことができた。

ここで扱った合金はいずれも引張試験片として照射し、ホットセル内で照射後引張試験を行なったのち、その破断部近傍から金相試験片を採取、埋込み、研磨、エッチングを行ない顕微鏡写真撮影を行なった。撮影位置は破断部と、そこから約6 mm 離れた定常変形部とである。各種合金の照射材のほか非照射材についても電解、化学の両法を試み適当な条件を検討したのでその結果もあわせて報告する。

2. 耐熱合金の顕微鏡組織

高温ガス炉の近似条件で照射した材料の照射損傷は、その成分中に微量に含まれるBの熱中性子との核変換反応に起因するHe 脆化によるものとされている。中性子照射による金属組織変化については、ステンレス鋼で炭化物析出などの例も報告されているが、⁸⁾ここで報告する極めて高温における照射では、光学顕微鏡で観察するかぎり照射量と組織の間にはっきりした相関性はみられない。むしろ照射温度あるいは照射後引張温度が組織を決定していると考えられる。

ハステロイ、インコネル、インコロイ等各種耐熱合金の非照射材の伸びは、約800°C 以上では試験温度の上昇に伴って増加する。しかし、照射材ではFig. 1で明らかのように高温になるほど伸びの低下が著しい。1000°Cでの伸びは非照射材の1/10以下である。このような機械的性質の低下が各種合金のマイクロ組織にどのように対応しているか、あるいはどのような破断モードをとっているかを明らかにすることに顕微鏡観察の重要性がある。各種耐熱合金の顕微鏡組織は以下に述べる通りであるが、いずれの合金も高温真空引張試験時の破断モードは粒界型であった。

Table 1 に各合金の化学組成規格、Table 2 に試料履歴と写真番号、Photo 1~51に各種合金の引張試験片破断部と破断部から約6 mm 離れた定常変形部の組織を示した。

2.1 ハステロイXの高温引張組織

2.1.1 溶体化処理材(Photo 1~7)

Photo 1~5は鍛造材組織であるが、試料の熱間加工方向に沿って未溶解炭化物が層状に析出している。これは溶体化処理温度でも安定な M_6C ⁹⁾¹⁰⁾で、その析出量の多少は製造ロットによる相違である。しかし、Photo 6, 7の圧延材試料では、少量の未溶解炭化物がランダムに存

在するだけで層状析出物はみられない。820°C, 925°C 照射試料 (Photo 1, 2) のマトリックス全面に M_6C の析出物が存在するが、この粒内析出物は照射温度の上昇に伴って減少する傾向がみられる。約1000°Cの照射試料 (Photo 3, 4) では、未溶解炭化物および粒界に析出した M_6C 以外はマトリックスに固溶している。Photo 5, 7 は鍛造材、圧延材の常温引張組織であるが、結晶粒の伸びは圧延材がはるかに大きく、また常温引張に特有な歪模様も鍛造材ではみられない。このことは引張試験時の伸び (鍛造材: 15.3%, 圧延材: 57.2%) の差に対応している。しかし、鍛造材の照射温度は750°C, 圧延材は1,020°Cであることから、鍛造材の伸びの低下については、照射中にマトリックス全面に析出した微細な炭化物 M_6C' ¹⁾⁹⁾の影響があるものと思われる。

なお、Photo 4, 7 に未溶解炭化物以外の析出物がまったく認められないことから高温引張時の冷却過程あるいは照射終了時の冷却過程での炭化物の析出はないことが分かる。

2.1.2 時効材 (Photo 8~10)

照射試料の時効処理はいずれも900°C, 700hrである。

Photo 8 は時効処理後770°Cで照射した試料であるが、同温度で照射した溶体化材 (Photo 1) にくらべて粒内析出物が少ない。これは時効中に粒界に析出した炭化物 M_6C が照射中にも安定で微細な炭化物に変化しないためと思われる。900°C照射試料 (Photo 9) では、この傾向がさらに顕著に認められ、炭化物の凝集も起っている。しかし、Photo 10 に示すように1000°C照射試料では溶体化材とほとんど同等な組織を呈している。

ハステロイXの長時間時効においては種々の析出相 (M_6C , M_6C' , $M_{23}C_6$, Laves 相, σ 相, μ 相等) が報告されている¹⁾が、高温ガス炉で対象となる約800°C以上の高温領域で長時間時効した場合には M_6C のみが現われるようである。

2.1.3 冷間加工後時効材 (Photo 11~13)

30%加工後950°Cで時効し、880°Cで照射した試料 (Photo 11) は再結晶が進行中であり、マトリックス全面に微細な炭化物 M_6C が認められる。

50%加工後950°Cで時効し、1000°Cで照射した試料 (Photo 12, 13) では再結晶が完全に終了しており、粒界に M_6C が析出している。

破断部近傍のマイクロクラックは、高温で長時間時効処理 (照射を含む) した試料に多く発生している。特にPhoto 13試料では、破断部から約6mm離れた定常変形部にも無数のクラックがみられる。

これらはいずれも圧延材試料のため、層状の未溶解炭化物は認められない。

2.1.4 溶接材 (Photo 14, 15)

いずれも850°Cで照射したもので、母材および溶着金属部に M_6C と思われる炭化物が析出している。900°C引張試験では母材で破断し、1000°C引張試験では溶接部で破断している。しかし、試料が少ないのでこれらの温度における母材と溶接部の強さについて論ずることはできない。

2.1.5 Ti 添加材 (Photo 16~21)

主に高速増殖炉を対象としたオーステナイト系ステンレス鋼で、Ti 添加による照射脆化の軽減が試みられている。この方法をHTGR候補材である Hastelloy X に適用して高温照射における脆化の改良効果が検討された。しかし、照射後引張試験の結果からは、Ti 添加による照射脆化の軽減は認められなかった。

Photo 16~18 は溶体化処理材であるが、820°C で照射した試料の粒内微細析出物、925°C 照射試料の粒内および粒界析出物あるいは1000°C 照射試料における析出物の固溶化傾向など標準材の鍛造組織 (Photo 1~4) とまったく同等なものである。

Photo 19~21 は900°C, 700hr の時効処理の後照射したものであるが、いずれの試料も同一履歴の標準材 (Photo 8~10) にくらべて粒内析出物 M_6C が多く、1000°C 照射試料以外では炭化物の凝集粗大化が顕著である。

溶体化材および時効材ともTi 炭窒化物と見られる析出物は認められない。

2.1.6 Zr, Ce 添加材 (Photo 22)

Hastelloy X の高温強度特性を改善するため開発された合金の一つでZr およびCe が微量添加されている。これまでの試験データ¹¹⁾によれば高温短時間引張特性、He 中でのクリープ特性、高温疲労特性等が従来の規格材にくらべてすぐれている。

この材料はBを30ppm 含有しているにもかかわらず900°C 引張試験における伸びが6%もある。Bが数十ppm 含まれている他の合金では、これと同様な照射条件で伸びが1%以下である。このことからこの合金では多量のBに起因するHe 脆化がZr, Ce の微量添加による改良効果のために相殺されていると考えられる。

組織はASTM粒度10~11と5~6の結晶粒が交互に重なった層状組織で M_6C と思われる微細な析出炭化物がマトリックス全面に見られる。

2.2 インコネル系合金の高温引張組織

2.2.1 インコネル600 (Photo 23, 24)

Photo 23 は溶体化処理後980°C で照射し、1000°C で引張試験した試料であるがランダムに存在する未溶解炭化物ときわめて少量の析出炭化物が認められる。

Photo 24 は800°C, 500hr の時効後860°Cで照射した試料であるが Cr_7C_3 ⁹⁾と思われる炭化物が粒内および粒界に析出している。

2.2.2 インコネル625 (Photo 25~30)

この合金はすぐれた高温強度と耐食性を備えた合金であるが700°C から900°C で長時間時効した場合、炭化物やその他の析出相のため著るしい脆性がみられると言われている。¹²⁾

Photo 25~28 は溶体化処理材を820°C~1000°C で照射したものである。約900°C で照射した試料 (Photo 26, 27) にウィドマンステッテン型の析出物が存在するが、これは抽出残渣のX線解析により M_6C であるとされている。¹³⁾しかし、1000°C 照射試料 (Photo 28) では、ウィドマンステッテン型の組織は消滅し、わずかに微細な析出物を残し

ている程度である。Photo 25は820°Cで照射した試料であるが、900°C照射試料で見られたウィドマンステッテン型の組織は存在しない。これが析出物の温度依存性によるものか、エッチング不足によるものかは明らかでない。

900°C, 700hrの時効後770°Cあるいは900°Cで照射した試料 (Photo 29, 30) では、いずれもウィドマンステッテン型の組織を呈している。

2.2.3 インコネルX750 (Photo 31~33)

Photo 31では常温引張試料に特有な歪模様が破断部から約6mmの位置にも見られる。これは伸びが35.3%であることに対応している。大きな角ばった析出物は未溶解のTi炭窒化物、粒界に析出する小さい析出物は $M_{23}C_6$ と思われる。

Photo 32, 33はそれぞれ980°C, 860°Cで照射後1000°Cで引張試験した試料であるが、いずれも未溶解のTi炭窒化物がランダムに存在し、粒界の所々にクラックおよび析出物 ($M_{23}C_6$)が見られる。粒界に黒点状に見えるものは析出物がエッチングで侵されて生じたピットあるいは引張軸に対して直角方向の粒界に優先的に現われていることから楕円形空隙 (round type crack)とも考えられる。

2.3 インコロイ系合金の高温引張組織

2.3.1 インコロイ800 (Photo 34~38)

インコロイ800は開発当初Ti, Alを含まない19/20Cr - 32/36Ni鋼であったが、その後少量のTi, Alを添加したものに規格替えになった。

Ti添加による照射脆化の軽減の試みは、ハステロイXでもなされたが、前述したようにその改良効果は認められなかった。しかし、この合金では照射後高温引張試験において新規格材に顕著な伸びの増加が認められた。このことはTi添加によって照射脆化が軽減されたことを意味している。

Photo 34, 35は980°Cで照射し、1000°Cで引張試験した新旧規格材であるが、伸びは新規格材が10.1%, 旧規格材が3.03%である。このように引張試験では明らかにTi添加の効果が現われているにもかかわらず両者の伸びの差を裏付けるような組織の相違は見られない。Photo 34にはTi炭窒化物、Photo 35にはこれと異なる析出物が未溶解炭化物として存在する。いずれも約1000°Cの照射で粒界に球状の析出物が凝集し、クラックの発生源となっているようである。

Photo 36~38は50°Cで照射し、750°Cで引張試験した新規格材の組織である。Photo 36は溶体化材であるが、引張応力に起因する歪模様は生じていない。900°C, 40分の短時間時効材 (Photo 37) では粒界あるいは双晶境界の一部にSerrationが起っている。50%加工後900°Cで40分時効した試料 (Photo 38) は、加工時の歪模様が大部分残っているが局部的に再結晶を開始している。

2.3.2 インコロイ807 (Photo 39, 40)

600°C照射試料および900°C照射試料のいずれにも比較的大きな析出物がランダムに存

在するが、これは溶体化処理で残留した NbC¹³⁾である。粒内の微細な析出物は Ti 炭窒化物と思われる。

2.4 ハステロイ X およびインコロイ 800 の非照射材組織

2.4.1 ハステロイ X (Photo 41~47)

Photo 41 は溶体化処理組織であるが、1170°C の処理温度でも安定な未溶解炭化物 M₆C が存在する。

Photo 42~47 は溶体化処理材の大気中高温引張組織である。800°C, 900°C 引張試料 (Photo 43, 45) の結晶粒の伸びは著るしく、双晶境界あるいは粒界の一部に Serration が見られる。1000°C 引張試料 (Photo 46, 47) には引張試験中に発生した板状の析出物が存在するが、照射後試料ではこの傾向はみられない。

電解、化学のエッチング方法の違いによる組織の違いは、900°C 以下の試料ではほとんど見られないが、1000°C 引張試料に限って電解法では析出物、化学法では結晶粒界を選択的にエッチングしている (Photo 46, 47)。

2.4.2 インコロイ 800 (Photo 48~51)

Photo 48, 49 は溶体化処理後 1000°C で引張った新旧両規格材の試験片つかみ部の組織であるが、新規格材には Ti 炭窒化物、旧規格材には、これとは異なる析出物が存在する。この合金は新旧規格材とも電解研磨によって析出物のある所にピットが形成されてしまう。(Photo 50) ので仕上研磨後低電圧でエッチングのみ行ないピットのない良好な組織を得た。Photo 51 は化学エッチング組織であるが、塩酸、硝酸、硫酸の混酸溶液を用いれば電解法とほとんど同等な組織が得られる。

3. 耐熱合金のエッチング

耐熱合金の照射後試験に先立って、エッチング条件の文献調査^{1)~7)} とハステロイ X, インコロイ 800 の非照射材の金相試験を行ない、電解および化学エッチング条件の検討を重ねた。この経験に基づいて種々の合金の照射後金相試験を行ない、各合金とも約 800°C から 1000°C 照射材について熱履歴、照射量等が変化しても共通して採用できるエッチング条件を決定できた。各種耐熱合金のエッチング条件を Table 3 および 4 に示し、試料個々については写真の下部に記した。

過塩素酸系の電解液 A-2 液を用いた電解エッチングでは、ハステロイ X, インコネル 600, インコロイ 800 に対して 2.2~3.5 (V) のエッチング電圧で良好な組織が得られた。また、インコネル 625 および X 750, インコロイ 807 に対しては塩酸を主体とする化学エッチングが適していた。化学エッチングにおけるハステロイ X, インコネル 625 の浸漬時間のばらつきは、組織の現出程度の過不足あるいはエッチング液調合後の放置時間の長短等に起因すると思

在するが、これは溶体化処理で残留した NbC¹³⁾である。粒内の微細な析出物は Ti 炭窒化物と思われる。

2.4 ハステロイ X およびインコロイ 800 の非照射材組織

2.4.1 ハステロイ X (Photo 41~47)

Photo 41 は溶体化処理組織であるが、1170°C の処理温度でも安定な未溶解炭化物 M₆C が存在する。

Photo 42~47 は溶体化処理材の大気中高温引張組織である。800°C, 900°C 引張試料 (Photo 43, 45) の結晶粒の伸びは著るしく、双晶境界あるいは粒界の一部に Serration が見られる。1000°C 引張試料 (Photo 46, 47) には引張試験中に発生した板状の析出物が存在するが、照射後試料ではこの傾向はみられない。

電解、化学のエッチング方法の違いによる組織の違いは、900°C 以下の試料ではほとんど見られないが、1000°C 引張試料に限って電解法では析出物、化学法では結晶粒界を選択的にエッチングしている (Photo 46, 47)。

2.4.2 インコロイ 800 (Photo 48~51)

Photo 48, 49 は溶体化処理後 1000°C で引張った新旧両規格材の試験片つかみ部の組織であるが、新規格材には Ti 炭窒化物、旧規格材には、これとは異なる析出物が存在する。この合金は新旧規格材とも電解研磨によって析出物のある所にピットが形成されてしまう。(Photo 50) ので仕上研磨後低電圧でエッチングのみ行ないピットのない良好な組織を得た。Photo 51 は化学エッチング組織であるが、塩酸、硝酸、硫酸の混酸溶液を用いれば電解法とほとんど同等な組織が得られる。

3. 耐熱合金のエッチング

耐熱合金の照射後試験に先立って、エッチング条件の文献調査^{1)~7)} とハステロイ X, インコロイ 800 の非照射材の金相試験を行ない、電解および化学エッチング条件の検討を重ねた。この経験に基づいて種々の合金の照射後金相試験を行ない、各合金とも約 800°C から 1000°C 照射材について熱履歴、照射量等が変化しても共通して採用できるエッチング条件を決定できた。各種耐熱合金のエッチング条件を Table 3 および 4 に示し、試料個々については写真の下部に記した。

過塩素酸系の電解液 A-2 液を用いた電解エッチングでは、ハステロイ X, インコネル 600, インコロイ 800 に対して 2.2~3.5 (V) のエッチング電圧で良好な組織が得られた。また、インコネル 625 および X 750, インコロイ 807 に対しては塩酸を主体とする化学エッチングが適していた。化学エッチングにおけるハステロイ X, インコネル 625 の浸漬時間のばらつきは、組織の現出程度の過不足あるいはエッチング液調合後の放置時間の長短等に起因すると思

われ、さらに検討の余地がある。

エッチングを行なうにあたり注意すべき点として次のことが挙げられる。電解法で引張試験片をエッチングする場合、まず破断部近傍組織を最適条件で観察し、その後追加エッチングして定常変形部を観察する。化学法では塩酸、硝酸、硫酸の混酸溶液を用いる場合、調合後すみやかに使用し、塩酸、エチルアルコール、塩化第二銅溶液を用いる場合は調合後60分放置して使用する。なお、電解、化学いずれの方法でも試料は最終仕上研磨後、直ちにエッチングすることが肝要である。

4. あとがき

ここに紹介した顕微鏡組織写真は昭和48年3月から昭和50年7月の間に大洗研究所ホットラボにおいて金相試験を実施したものの中から、特に高温ガス炉用の構造材料候補材を選択し整理した。これらの中には試料調製にあたり数多くの試行錯誤の後、条件を決定したもの、あるいは初回に満足できる組織を得られたものなどいろいろあるが、ここに800°Cから1,000°Cの高温照射履歴をもつそれぞれの材料に対して一定のエッチング条件を決定できた。これらは非照射材、照射材にかかわらず今後の試料調製に役立たせていけるものと思う。また今後とも新材料の開発にともない、これらの条件をもとにさらに改良の必要があろう。

最後に各種の試料および資料の提供と多大の助言をいただいた燃料工学部材料工学研究室の近藤達男室長はじめ同研究室の方々に心から感謝致します。

参 考 文 献

- 1) F. A. Comprelli and U. E. Wolff : GEAP-4745 (1964)
- 2) F. A. Comprelli and J. E. Levis : GEAP-4751 (1965)
- 3) I. S. Levy and K. R. Wheeler : BNWL-211 (1966)
- 4) I. S. Levy : BNWL-SA-1442 (1968)
- 5) K. P. Fracke, F. Garzarolli and Gerscha : KFK-985
- 6) R. J. Towner : WAPD-TM-1077 (1973)
- 7) W. L. Mankins, J. C. Hosier and T. H. Bassford : Met. Trans., 5 (1974), pp. 2579-90
- 8) D. R. Arkeell, P. C. L. Pfeil : J. Nucl. Mat., 12 (1964), pp. 145-152
- 9) 学振 : 高温ガス炉耐熱材料研究会調査報告書 (1972)
- 10) R. H. Chesworth : AGN-8224 (1967)
- 11) 新日本製鉄 : AMS 5536G (ハステロイX) 改良合金について (1974)
- 12) G. I. Roberts : General Atomic Co. Report GA-A13039 (1974)
- 13) 学振 : 高温ガス炉耐熱材料研究会調査報告書 (第2集) (1974)

われ、さらに検討の余地がある。

エッチングを行なうにあたり注意すべき点として次のことが挙げられる。電解法で引張試験片をエッチングする場合、まず破断部近傍組織を最適条件で観察し、その後追加エッチングして定常変形部を観察する。化学法では塩酸、硝酸、硫酸の混酸溶液を用いる場合、調合後すみやかに使用し、塩酸、エチルアルコール、塩化第二銅溶液を用いる場合は調合後60分放置して使用する。なお、電解、化学いずれの方法でも試料は最終仕上研磨後、直ちにエッチングすることが肝要である。

4. あとがき

ここに紹介した顕微鏡組織写真は昭和48年3月から昭和50年7月の間に大洗研究所ホットラボにおいて金相試験を実施したものの中から、特に高温ガス炉用の構造材料候補材を選択し整理した。これらの中には試料調製にあたり数多くの試行錯誤の後、条件を決定したもの、あるいは初回に満足できる組織を得られたものなどいろいろあるが、ここに800°Cから1,000°Cの高温照射履歴をもつそれぞれの材料に対して一定のエッチング条件を決定できた。これらは非照射材、照射材にかかわらず今後の試料調製に役立たせていけるものと思う。また今後とも新材料の開発にとまない、これらの条件をもとにさらに改良の必要があろう。

最後に各種の試料および資料の提供と多大の助言をいただいた燃料工学部材料工学研究室の近藤達男室長はじめ同研究室の方々に心から感謝致します。

参 考 文 献

- 1) F. A. Comprelli and U. E. Wolff : GEAP-4745 (1964)
- 2) F. A. Comprelli and J. E. Levis : GEAP-4751 (1965)
- 3) I. S. Levy and K. R. Wheeler : BNWL-211 (1966)
- 4) I. S. Levy : BNWL-SA-1442 (1968)
- 5) K. P. Fracke, F. Garzarolli and Gerscha : KFK-985
- 6) R. J. Towner : WAPD-TM-1077 (1973)
- 7) W. L. Mankins, J. C. Hosier and T. H. Bassford : Met. Trans., 5 (1974), pp. 2579-90
- 8) D. R. Arkeell, P. C. L. Pfeil : J. Nucl. Mat., 12 (1964), pp. 145-152
- 9) 学振 : 高温ガス炉耐熱材料研究会調査報告書 (1972)
- 10) R. H. Chesworth : AGN-8224 (1967)
- 11) 新日本製鉄 : AMS 5536G (ハステロイX) 改良合金について (1974)
- 12) G. I. Roberts : General Atomic Co. Report GA-A13039 (1974)
- 13) 学振 : 高温ガス炉耐熱材料研究会調査報告書 (第2集) (1974)

われ、さらに検討の余地がある。

エッチングを行なうにあたり注意すべき点として次のことが挙げられる。電解法で引張試験片をエッチングする場合、まず破断部近傍組織を最適条件で観察し、その後追加エッチングして定常変形部を観察する。化学法では塩酸、硝酸、硫酸の混酸溶液を用いる場合、調合後すみやかに使用し、塩酸、エチルアルコール、塩化第二銅溶液を用いる場合は調合後60分放置して使用する。なお、電解、化学いずれの方法でも試料は最終仕上研磨後、直ちにエッチングすることが肝要である。

4. あとがき

ここに紹介した顕微鏡組織写真は昭和48年3月から昭和50年7月の間に大洗研究所ホットラボにおいて金相試験を実施したものの中から、特に高温ガス炉用の構造材料候補材を選択し整理した。これらの中には試料調製にあたり数多くの試行錯誤の後、条件を決定したもの、あるいは初回に満足できる組織を得られたものなどいろいろあるが、ここに800°Cから1,000°Cの高温照射履歴をもつそれぞれの材料に対して一定のエッチング条件を決定できた。これらは非照射材、照射材にかかわらず今後の試料調製に役立たせていけるものと思う。また今後とも新材料の開発にともない、これらの条件をもとにさらに改良の必要があろう。

最後に各種の試料および資料の提供と多大の助言をいただいた燃料工学部材料工学研究室の近藤達男室長はじめ同研究室の方々に心から感謝致します。

参 考 文 献

- 1) F. A. Comprelli and U. E. Wolff : GEAP-4745 (1964)
- 2) F. A. Comprelli and J. E. Levis : GEAP-4751 (1965)
- 3) I. S. Levy and K. R. Wheeler : BNWL-211 (1966)
- 4) I. S. Levy : BNWL-SA-1442 (1968)
- 5) K. P. Fracke, F. Garzarolli and Gerscha : KFK-985
- 6) R. J. Towner : WAPD-TM-1077 (1973)
- 7) W. L. Mankins, J. C. Hosier and T. H. Bassford : Met. Trans., 5 (1974), pp. 2579-90
- 8) D. R. Arkeell, P. C. L. Pfeil : J. Nucl. Mat., 12 (1964), pp. 145-152
- 9) 学振 : 高温ガス炉耐熱材料研究会調査報告書 (1972)
- 10) R. H. Chesworth : AGN-8224 (1967)
- 11) 新日本製鉄 : AMS 5536G (ハステロイX) 改良合金について (1974)
- 12) G. I. Roberts : General Atomic Co. Report GA-A13039 (1974)
- 13) 学振 : 高温ガス炉耐熱材料研究会調査報告書 (第2集) (1974)

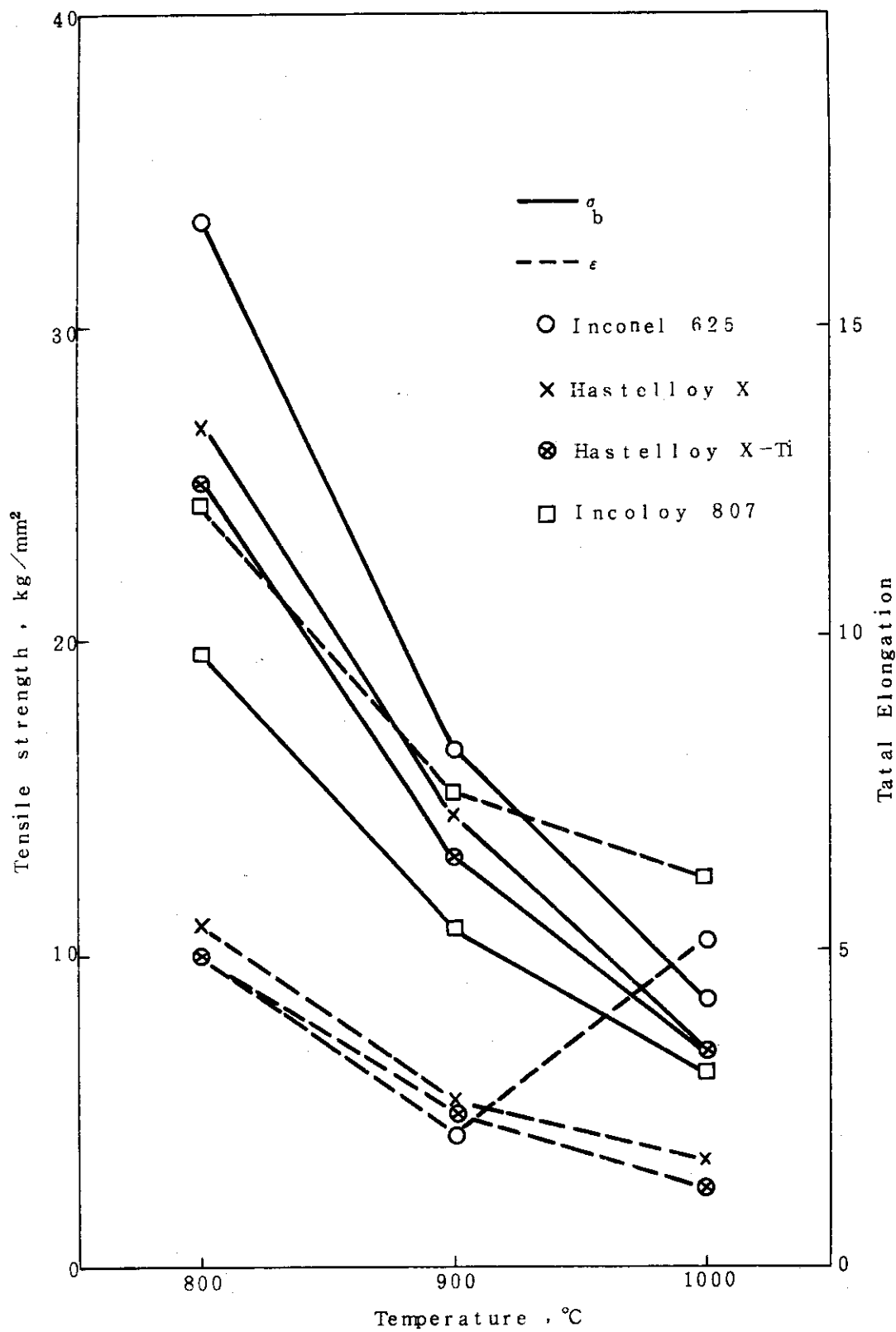


Fig. 1 各種耐熱合金の照射後引張特性
照射量 2×10^{20} nvt (th)

Table 1 耐熱合金の化学組成規格 (w/o)

合金	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Fe	Co	Mo	W	Ti	Al	Cu	B* (ppm)	その他
ハステロイ X	0.05 0.15	<1.0	<1.0	<0.04	<0.03	20.5 23	BAL	17 20	0.5 2.5	8 10	0.2 1.0	-	-	-	3.8	
**ハステロイ X (Ti添加)	0.07	0.49	0.33	0.004	<0.005	21.69	BAL	17.90	0.99	8.31	0.51	0.43	-	-	<10	
**ハステロイ X (Zr, Ce添加)	0.05	0.75	0.32	0.006	0.011	21.6	BAL	18.0	1.4	8.4	0.50	-	-	-	30	
インコネル 600	<0.15	<1.0	<0.5	<0.030	<0.015	14 17	>72	6 10	-	-	-	-	-	<0.5	2	
インコネル 625	<0.1	<0.5	<0.5	<0.015	<0.015	20 23	BAL	<50	<1.0	8 10	-	<0.4	<0.4	-	4	Nb(+Ta) 3.15~4.15
インコネル 750	<0.08	<1.0	<0.5	<0.015	<0.01	14 17	>70	5 9	<1.0	-	-	2.25 2.75	0.4 1.0	<0.50	1	Nb(+Ta) 0.7~1.2
インコイ 800 (新規格)	<0.10	<1.5	<1.0	<0.035	<0.015	19 23	30 35	BAL	-	-	-	0.15 0.60	0.15 0.60	<0.75	3	
インコイ 800 (旧規格)	<0.10	<1.5	<1.0	<0.035	<0.015	19 20	32 36	BAL	-	-	-	-	-	<0.75	2	
**インコイ 807	0.068	0.83	0.71	0.002	0.007	20.3	41.25	BAL	80.9	0.26	50.6	0.83	0.48	0.013	1.4	Nb: 0.44 N : 0.0036

(注) * B含有量は照射試料の分析値を示した。

** ハステロイ X の Ti 添加材, Zr, Ce 添加材およびインコイ 807 合金については照射試料の分析値を示した。

Table 2-1 試料履歴と写真番号

Photo No.	合金	照射前処理	照射			引張温度 (°C)	エッチング方法
			温度(°C)	$\phi_{th}(nvt)$	時間(hr)		
1	ハステロイ X (鍛造材)	溶体化	820	2.1×10^{20}	320	800	電解
2	"	溶体化	925	2.1×10^{20}	320	1000	電解
3	"	溶体化	980	1.5×10^{20}	220	900	化学
4	"	溶体化	1000	1.7×10^{20}	1130	1000	電解
5	"	溶体化	750	2×10^{21}	1240	R.T	化学
6	ハステロイ X (圧延材)	溶体化	880	7×10^{20}	408	900	電解
7	"	溶体化	1020	2×10^{21}	1240	R.T	電解
8	ハステロイ X (鍛造材)	溶体化+時効(900°C×700hr)	770	1.5×10^{20}	220	800	化学
9	"	溶体化+時効(900°C×700hr)	900	1.5×10^{20}	220	900	化学
10	"	溶体化+時効(900°C×700hr)	980	1.7×10^{20}	1130	1000	電解
11	ハステロイ X (圧延材)	加工(30%)+時効(950°C ×100 hr)	880	7×10^{20}	408	900	電解
12	"	加工(50%)+時効(950°C ×3hr)	1000	7×10^{20}	408	1000	電解
13	"	加工(50%)+時効(950°C ×100hr)	1000	7×10^{20}	408	1000	電解
14	ハステロイ X (鍛造材)	溶接	850	2×10^{21}	1250	900	電解
15	"	溶接	850	2×10^{21}	1250	1000	電解
16	ハステロイ X-Ti (鍛造材)	溶体化	820	2.1×10^{20}	320	800	電解
17	"	溶体化	925	2.1×10^{20}	320	1000	電解
18	"	溶体化	980	1.7×10^{20}	1130	1000	電解
19	"	溶体化+時効(900°C×700hr)	770	1.5×10^{20}	220	800	化学
20	"	溶体化+時効(900°C×700hr)	900	1.5×10^{20}	220	900	電解
21	"	溶体化+時効(900°C×700hr)	980	1.7×10^{20}	1130	1000	電解
22	ハステロイ X-Zr,Ce (鍛造材)	溶体化	860	2.1×10^{20}	320	900	電解
23	インコネル600 (鍛造材)	溶体化	980	2.1×10^{20}	320	1000	電解
24	"	溶体化+時効(800°C×500hr)	860	2×10^{21}	1250	900	電解
25	インコネル625 (鍛造材)	溶体化	820	2.1×10^{20}	320	800	化学
26	"	溶体化	890	1.5×10^{20}	220	900	化学

Table 2-2 試料履歴と写真番号

Photo No.	合金	照射前処理	照射			引張温度 (°C)	エッチング方法
			温度(°C)	$\phi_{th}(nvt)$	時間(sec)		
27	インコネル625 (鍛造材)	溶体化	925	2.1×10^{20}	320	1000	化学
28	"	溶体化	1000	1.7×10^{20}	1130	1000	化学
29	"	溶体化+時効(900°C×700hr)	770	1.5×10^{20}	220	800	化学
30	"	溶体化+時効(900°C×700hr)	900	1.5×10^{20}	220	900	化学
31	インコネルX750 (圧延材)	溶体化	850	2×10^{21}	1250	R・T	化学
32	インコネルX750 (鍛造材)	溶体化	980	2.1×10^{20}	320	1000	化学
33	インコネルX750 (圧延材)	溶体化+時効(850°C×500hr)	860	2×10^{21}	1250	1000	化学
34	インコロイ800 (鍛造材)	溶体化(新規格材)	980	2.1×10^{20}	320	1000	電解
35	"	溶体化(旧規格材)	980	2.1×10^{20}	320	1000	電解
36	インコロイ800 (圧延材)	溶体化(新規格材)	50	1×10^{21}	-	750	電解
37	" *	溶体化+時効(900°C ×40min)	50	1×10^{21}	-	750	電解
38	" *	加工(50%)+時効(900°C ×40min)	50	1×10^{21}	-	750	電解
39	インコロイ807 (鍛造材)	溶体化	600	1.7×10^{20}	1130	700	化学
40	"	溶体化	925	2.1×10^{20}	320	1000	化学
41	ハステロイ X (圧延材)	溶体化	非照射材			-	電解
42	"	溶体化	"			800	電解
43	"	溶体化	"			800	化学
44	"	溶体化	"			900	電解
45	"	溶体化	"			900	化学
46	"	溶体化	"			1000	電解
47	"	溶体化	"			1000	化学
48	インコロイ800 (鍛造材)	溶体化(新規格材)	"			1000	電解
49	"	溶体化(旧規格材)	"			1000	電解
50	"	溶体化(新旧規格材)	"			1000	電解
51	"	溶体化(旧規格材)	非照射材			1000	化学

* Photo 37, 38はインコロイ800新規格材である。

Table 3 高温照射した耐熱合金のエッチング条件

合 金	照射温度 (°C)	電 解 法 *		化 学 法 **	
		電 圧 (V)	時間(sec)	エッチング液	浸漬時間(sec)
ハステロイ X (鍛造)	750~1000	2.2~3.4	7~18	I 液	30~50
	(圧延)	880~1020	3.2~4.0	—	—
	(鍛造溶接)	850	2.2~2.3	7	—
ハステロイ X (Ti添加) (鍛造)	770~980	2.5~3.3	6~15	I 液	20
ハステロイ X (Zr, Ce添加) (鍛造)	860	3.5	10	—	—
インコネル 600 (圧延鍛造)	860~980	2.5~2.6	35~40	—	—
インコネル 625 (鍛造)	770~1000	—	—	I 液	30~90
インコネル X750 (圧延鍛造)	850~980	—	—	II 液	10~15
インコロイ 800 (新旧規格材) (鍛造)	980	2.7~2.8	60~70	—	—
インコロイ 807 (鍛造)	600~925	—	—	III 液	20~25

*電解液はSTRUERS社製汎用電解液(A-2)を用いた。

A-2液の配合(cc)	C ₂ H ₅ OH	350
	ブチルセルソルブ	50
	H ₂ O	60
	HClO ₄	35

**化学エッチング液の配合(cc)

I 液	HCl	31	II 液	HCl	32	III 液	HCl	40
	HNO ₃	17		HNO ₃	45		C ₂ H ₅ OH	10
	H ₂ SO ₄	1		H ₂ SO ₄	7.5		CuCl ₂	4(g)

Table 4 非照射耐熱合金のエッチング条件

合金	製造履歴	引張試験 温度(°C)	電解法*1		化学法*2	
			電圧(V)	時間(sec)	エッチング液	浸漬時間(sec)
ハステロイ X	圧延, 溶体化	-	2.6	30	I 液	20
"	"	800	2.8	15	II 液	20
"	"	900	2.8	8	II 液	13
"	"	1000	2.6	6	I 液	35
インコイ 800	圧延, 溶体化	1000	3.7	30	III または IV 液	III 液: 30 IV 液: 60

(注)

*1 電解液は STRUERS 社製汎用液 (A-2 液) を用いた。

*2 エッチング液の配合 (cc)

Hcl	76	Hcl	84	Hcl	92	Hcl	40
I 液 HNO ₃	9	II 液 HNO ₃	6	III 液 HNO ₃	3	IV 液 C ₂ H ₅ OH	10
H ₂ SO ₄	15	H ₂ SO ₄	10	H ₂ SO ₄	5	CuCl ₂	4(g)

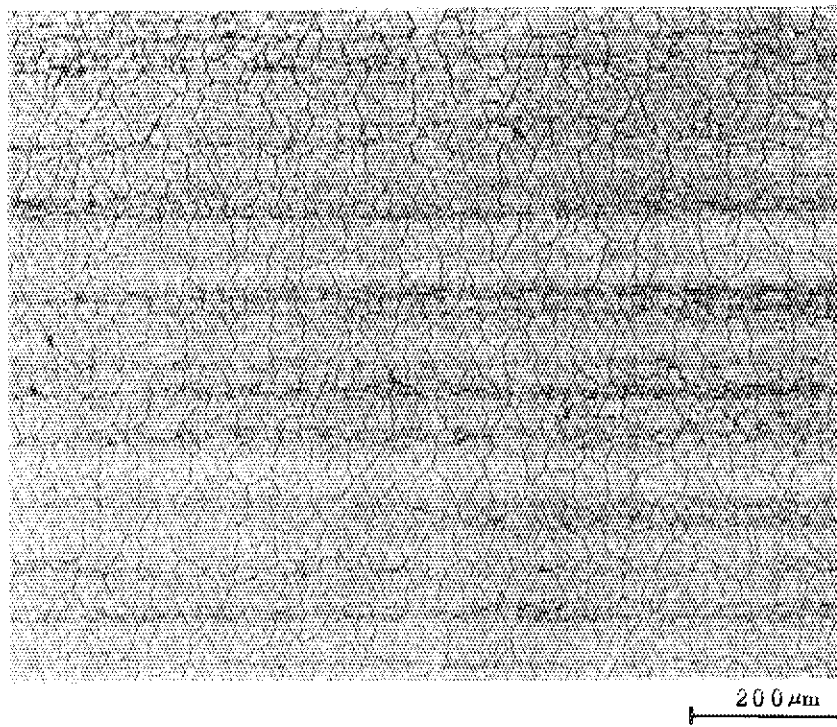
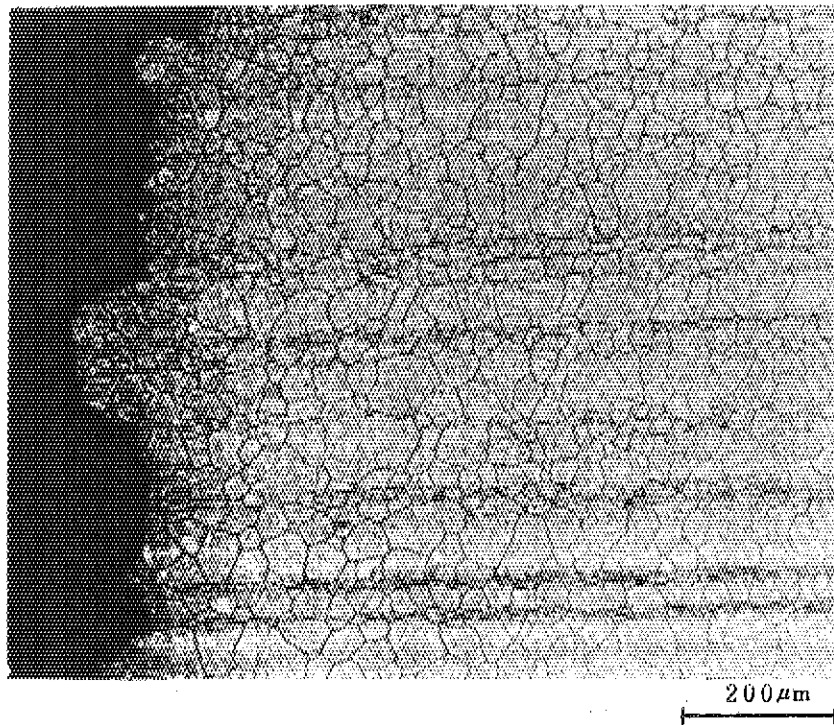


Photo 1 材 質 ; ハステロイ X 鍛造材
 照射前処理 ; 溶体化
 照 射 ; $820^{\circ}\text{C} \times 320\text{hr}$, $2.1 \times 10^{20} \text{ nvt}$
 照射後引張 ; 800°C , 歪速度 $0.2\text{mm}/\text{min}$, 伸び 5.27%
 エッチング条件 ; STRUERS 製汎用電解液 (A-2 液)
 $34\text{V} \cdot 7\text{sec}$
 組 織 ; 鍛造方向に沿って未溶解炭化物 M_6C , 粒内の
 微細な析出物は照射中に生じた M_6C 。
 上) 引張試験破断部 下) 定常変形部

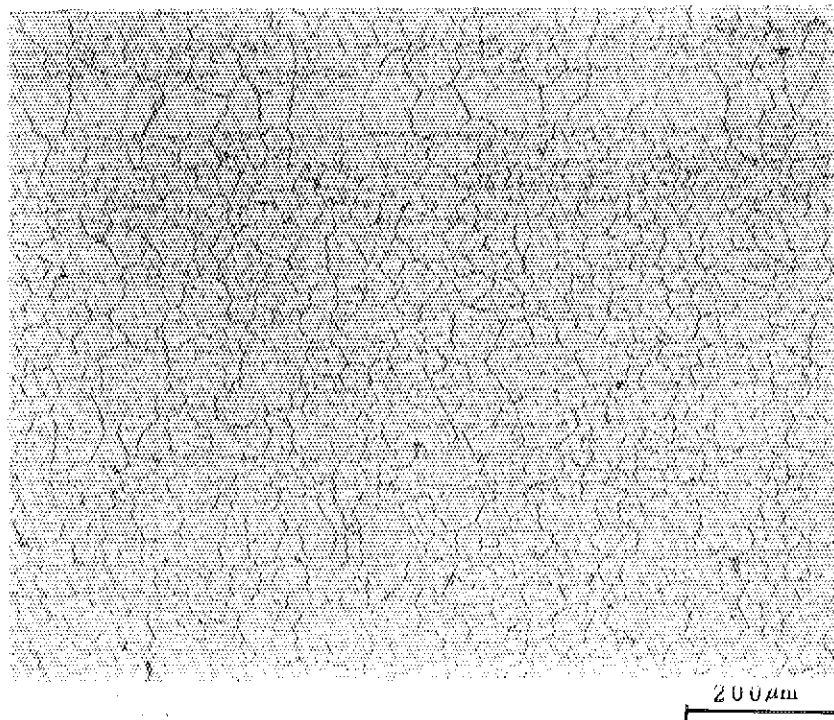
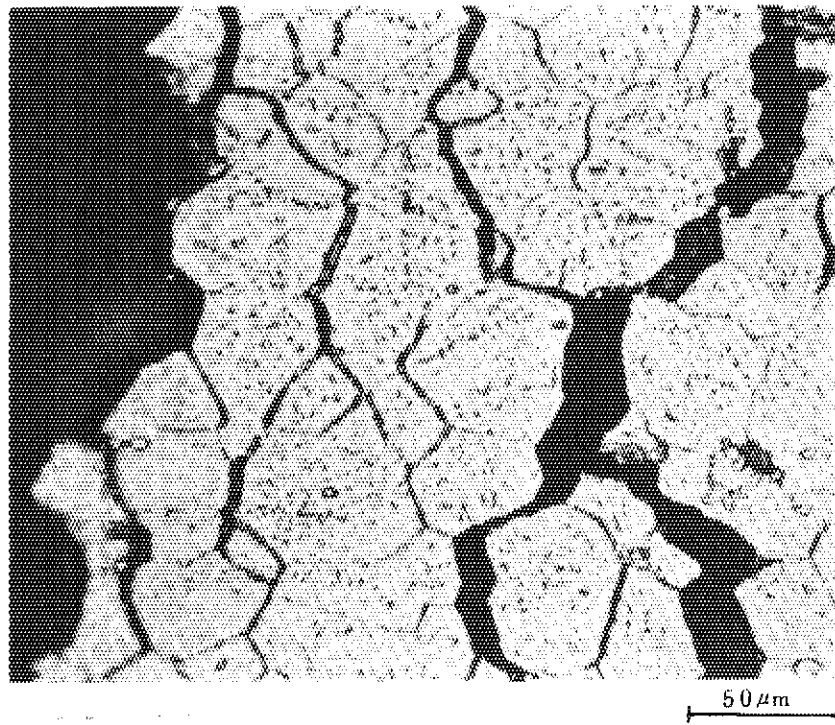


Photo 2 材 質 ; パステロイ X 鍛造材
照射前処理 ; 溶体化
照 射 ; $925^{\circ}\text{C} \times 320 \text{ hr}$, $2.1 \times 10^{20} \text{ nvt}$
照射後引張 ; 1000°C , 歪速度 0.2 mm/min , 伸び 1.63%
エッチング条件 ; STRUERS 製汎用電解液 (A-2 液)
 2.8 V , 18 sec
組 織 ; 鍛造方向に沿って未溶解炭化物, 粒内および
粒界に微細な炭化物, いずれも M_6C 。

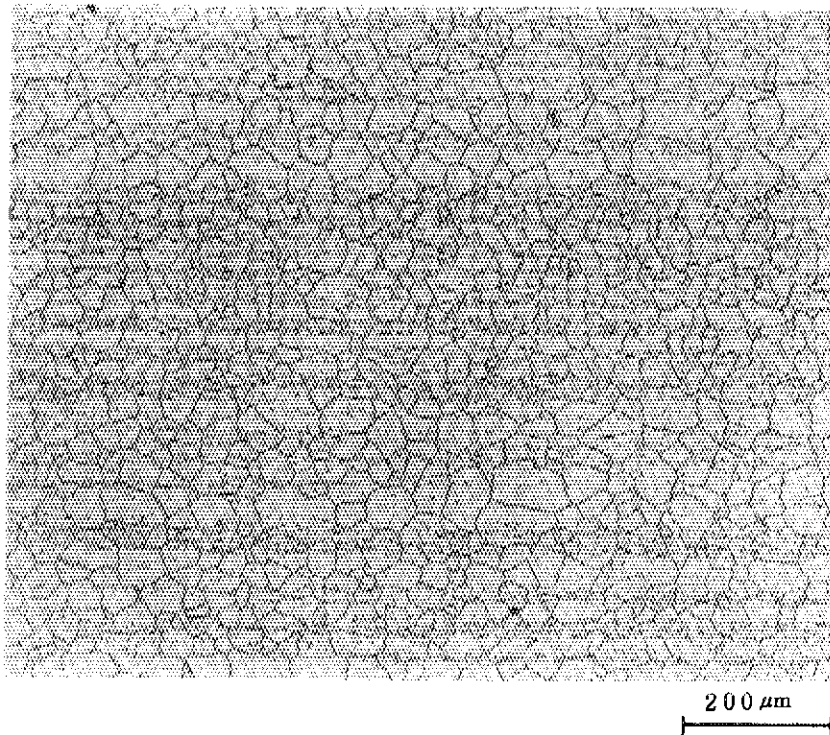
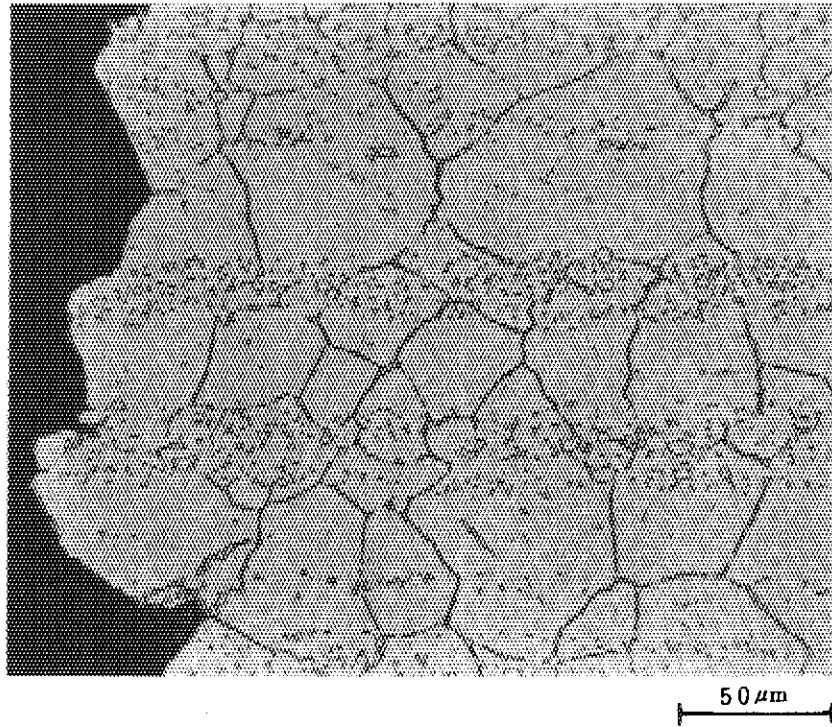
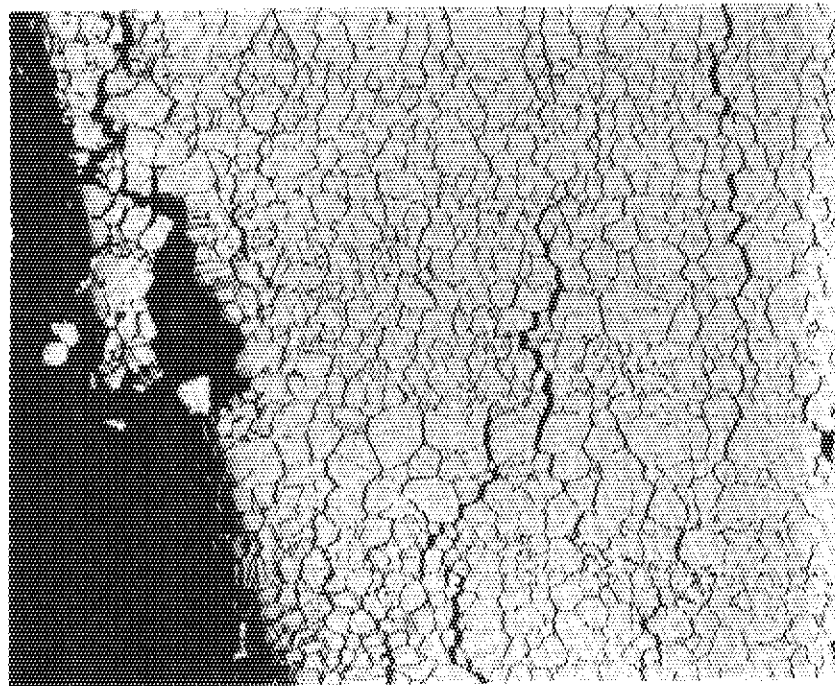
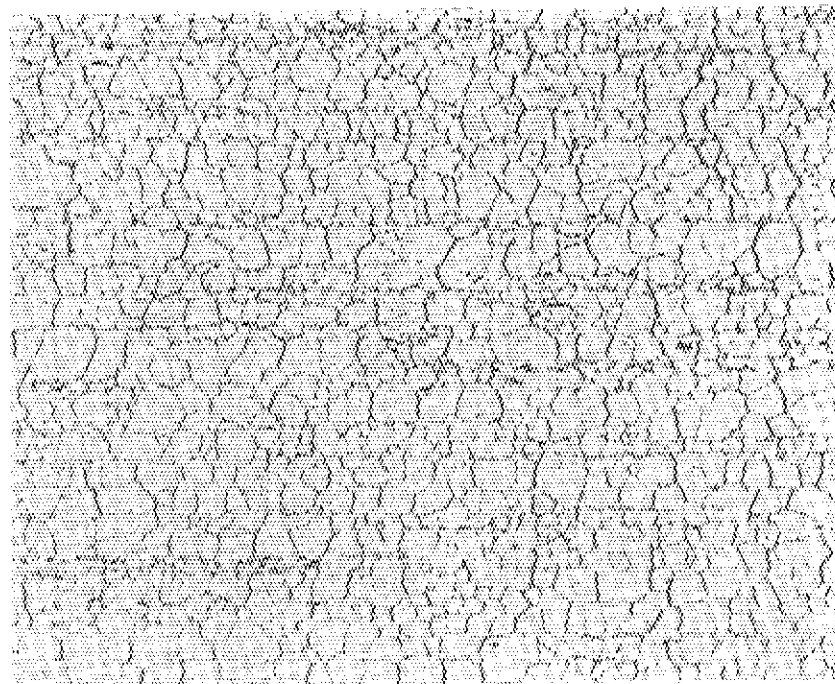


Photo 3 材 質； ハステロイ X 鍛造材
 照射前処理； 溶体化
 照 射； 98°C×220 hr, 1.5×10^{20} nvt
 照射後引張； 90°C, 歪速度 10mm/min, 伸び 7.9%
 エッチング条件； HCl 31cc, HNO₃ 1.7cc, H₂SO₄
 1cc 溶液, 40sec 浸漬
 組 織； 粒界破断が明らかである。加工方向に沿って
 未溶解炭化物, 粒界, 粒内に析出炭化物い
 ずれも M₆C。

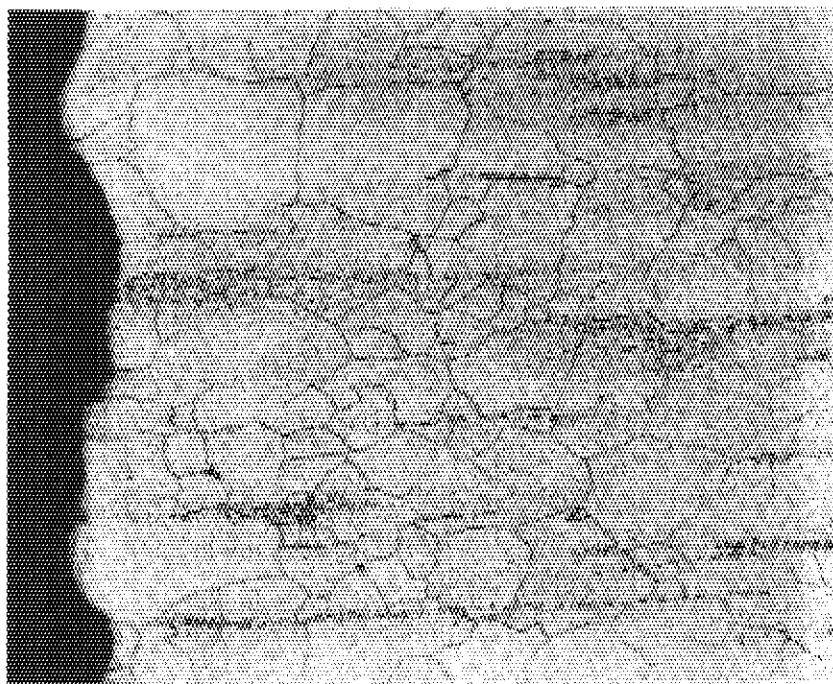


200 μm

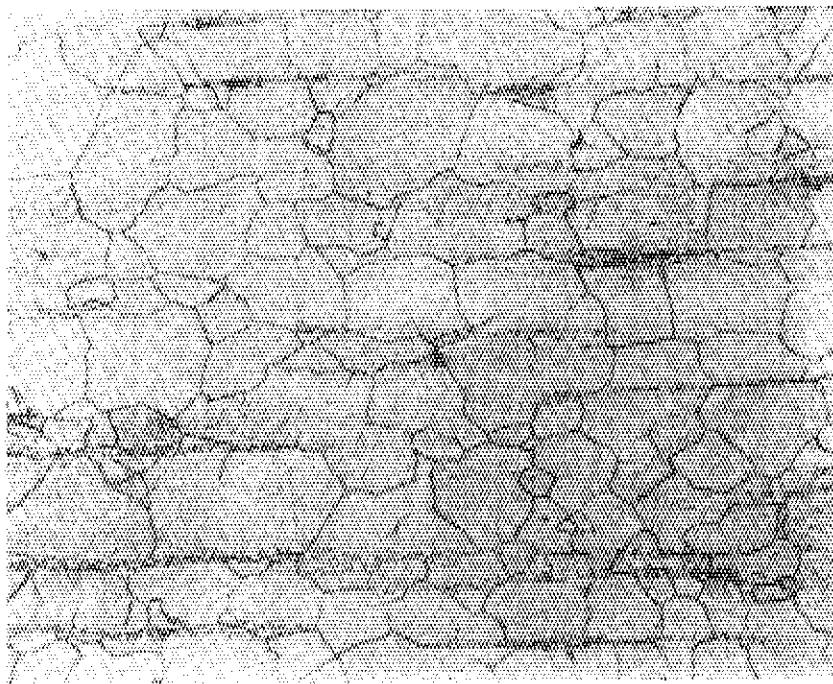


200 μm

Photo 4 材 質 ; ハステロイ X 鍛造材
 照射前処理 ; 溶体化
 照 射 ; $1000^{\circ}\text{C} \times 1130 \text{ hr}$, $1.7 \times 10^{20} \text{ nvt}$
 照射後引張 ; 1000°C , 歪速度 0.2 mm/min , 伸び 2.1%
 エッチング条件 ; STRUERS製汎用電解液 (A-2液)
 25V 17sec
 組 織 ; Photo#1, 3に比べ析出物が少ないが加工方向に沿って未溶解炭化物, 粒界に析出炭化物が認められる。引張軸と直角方向の粒界に沿ってクラックが生長している。

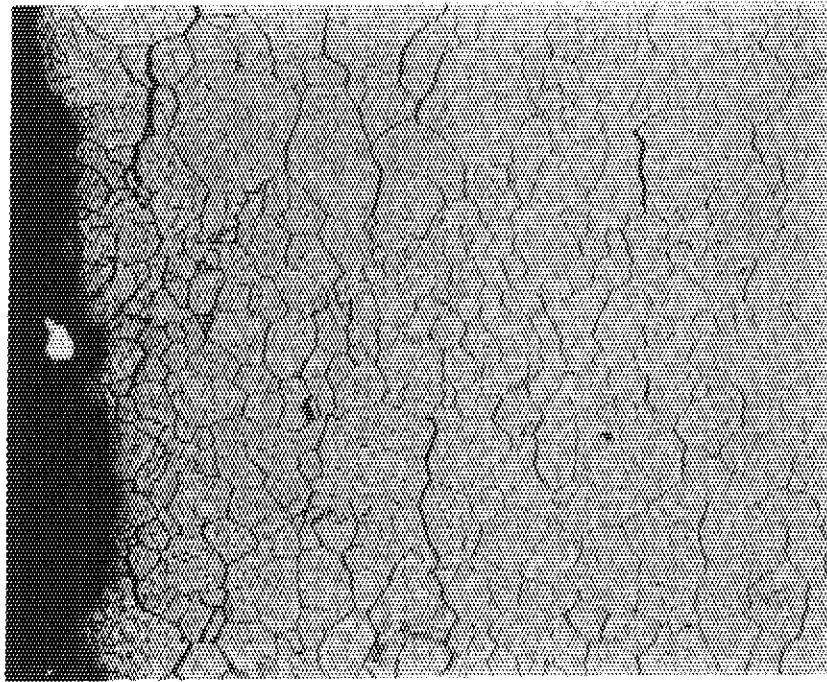


200 μm

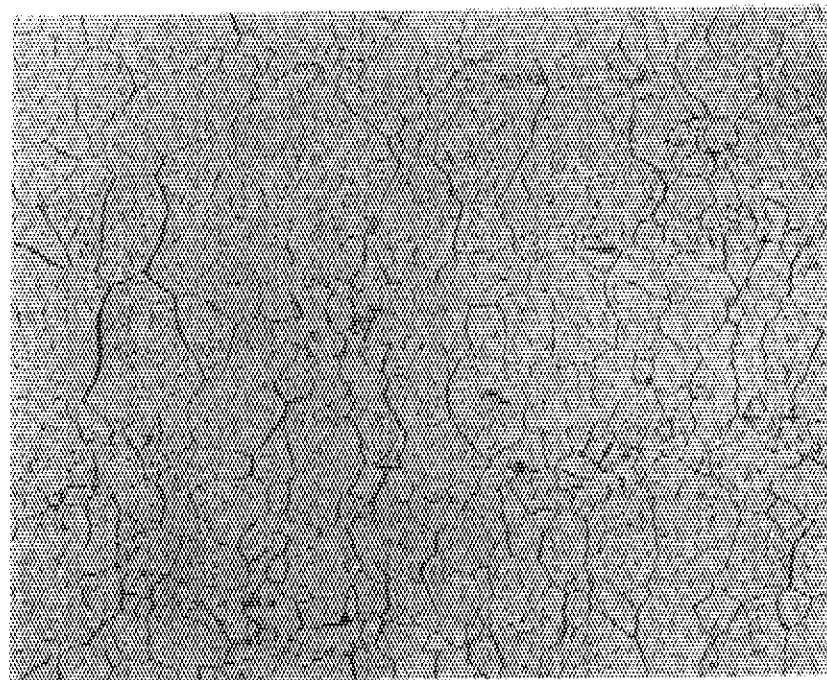


200 μm

Photo 5 材 質 ; ハステロイ X 鍛造材
 照射前処理 ; 溶体化
 照 射 ; $750^{\circ}\text{C} \times 1240\text{hr}$, $2 \times 10^{21}\text{ nvt}$
 照射後引張 ; 室温, 歪速度 $0.2\text{mm}/\text{min}$, 伸び 15.3%
 エッチング条件 ; HCl 3l cc, HNO_3 1 cc, H_2SO_4 1.7 cc 溶液
 10 sec, 浸漬
 組 織 ; 粒内破断。Photo 6 とくらべて結晶粒の伸びが
 小さく, 加工方向に沿って未溶解炭化物が析出。
 微細な粒内析出物は照射中に析出した M_6C^1 。

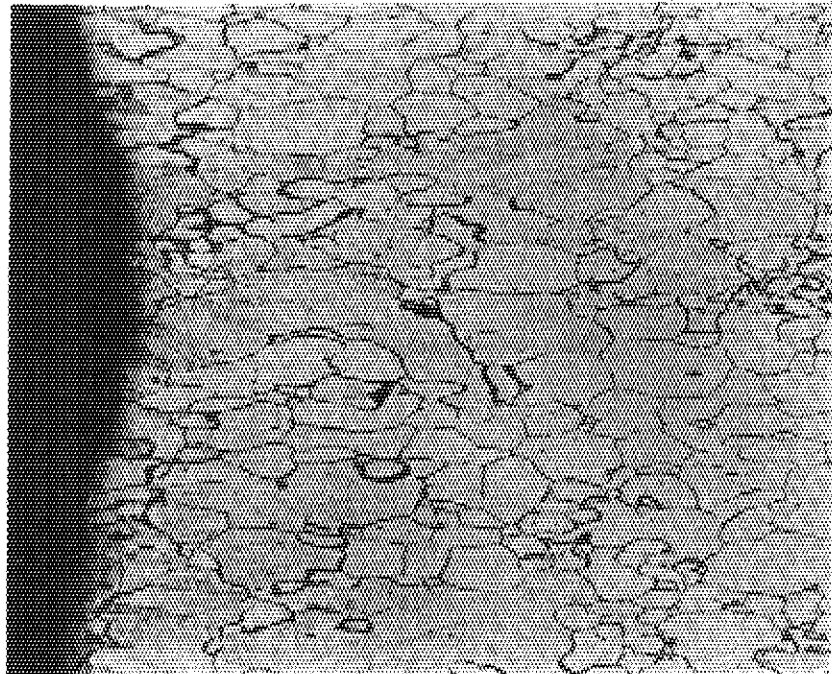


200 μ m

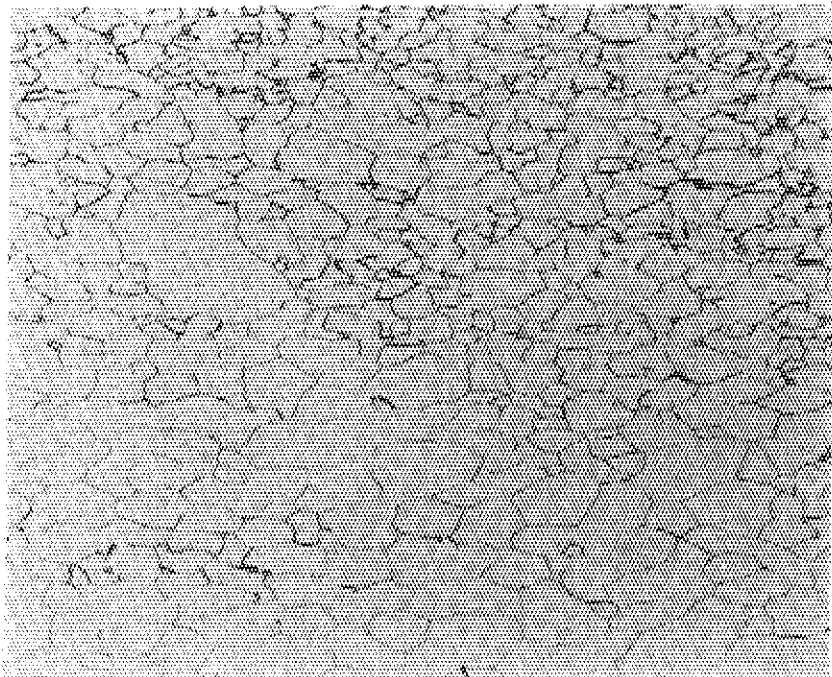


200 μ m

Photo 6 材 質；ハステロイ X 圧延材
 照射前処理；溶体化
 照 射；880°C×408hr， 7×10^{20} nvt
 照射後引張；900°C，歪速度 0.2mm/min，伸び 4.2%
 エッチング条件；STRUERS製汎用電解液（A-2液）
 5.0V 30 sec
 組 織；鍛造材と異なり加工方向に沿った析出物は認められない。大きな析出物は未溶解炭化物 M_6C ，粒内の微細な析出物は照射中に生じた M_6C 。

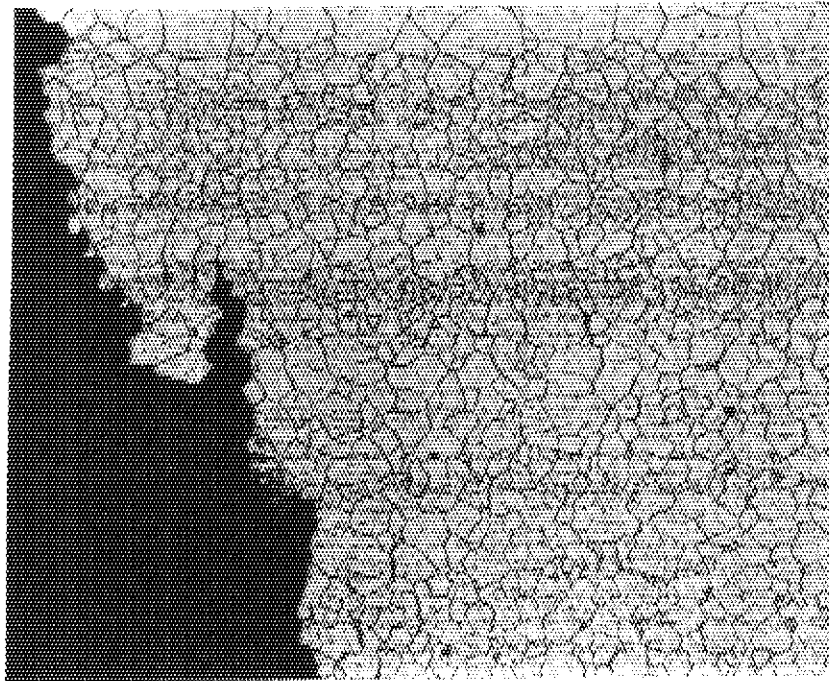


200 μm

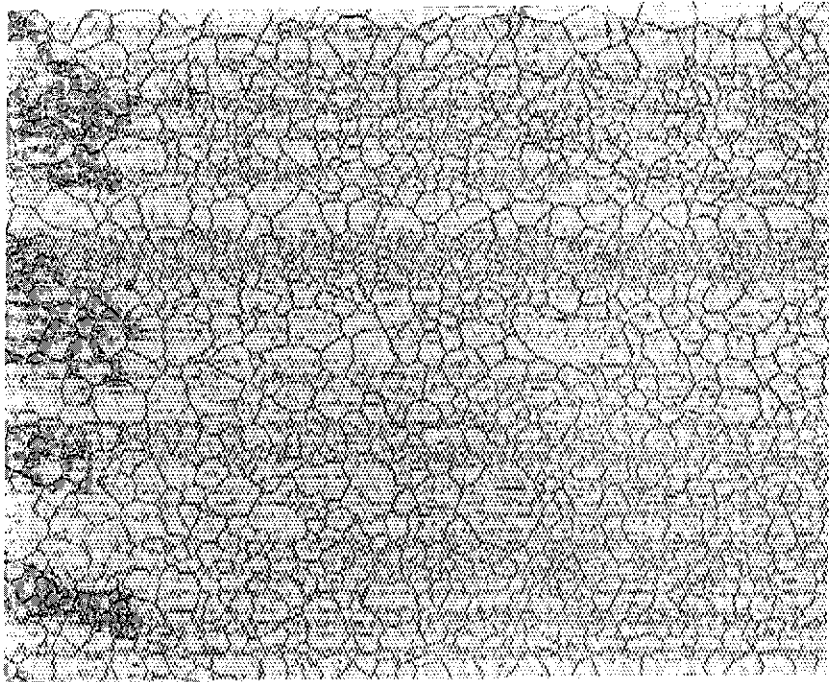


200 μm

Photo 7 材 質；ハステロイ X 圧延材
 照射前処理；溶体化
 照 射； $1020^{\circ}\text{C} \times 1240\text{hr}$ ， $2 \times 10^{21}\text{ nvt}$
 照射後引張；室温，歪速度 $0.2\text{mm}/\text{min}$ ，伸び 57.2%
 エッチング条件；STRUERS 製汎用電解液（A-2液）
 3.2V 13 sec
 組 織；結晶粒が引張方向に伸びており，破断伸びの大きい
 ことに対応している。破断部近傍の地に常温引張特
 有の歪模様がみられる。粒内破断。

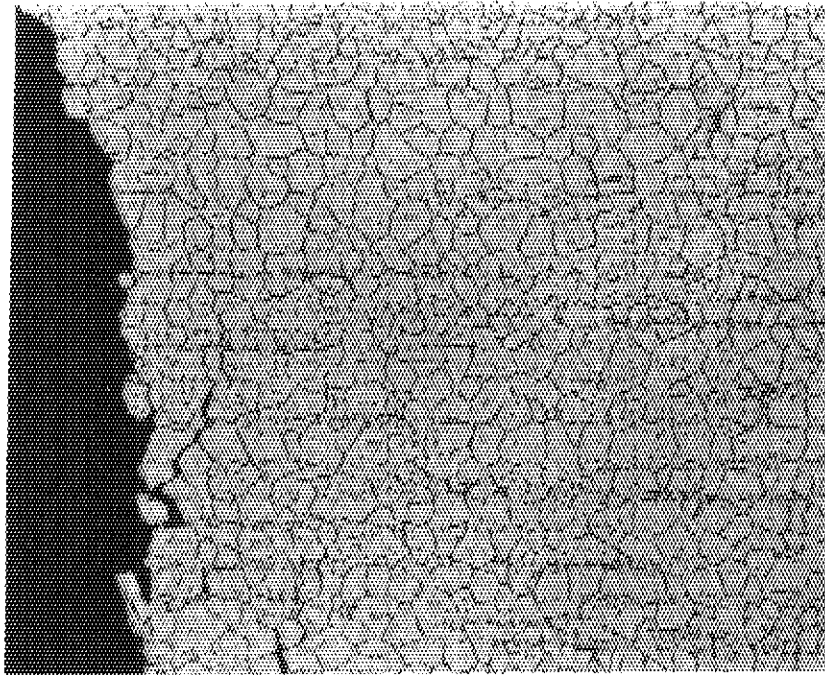


200 μm

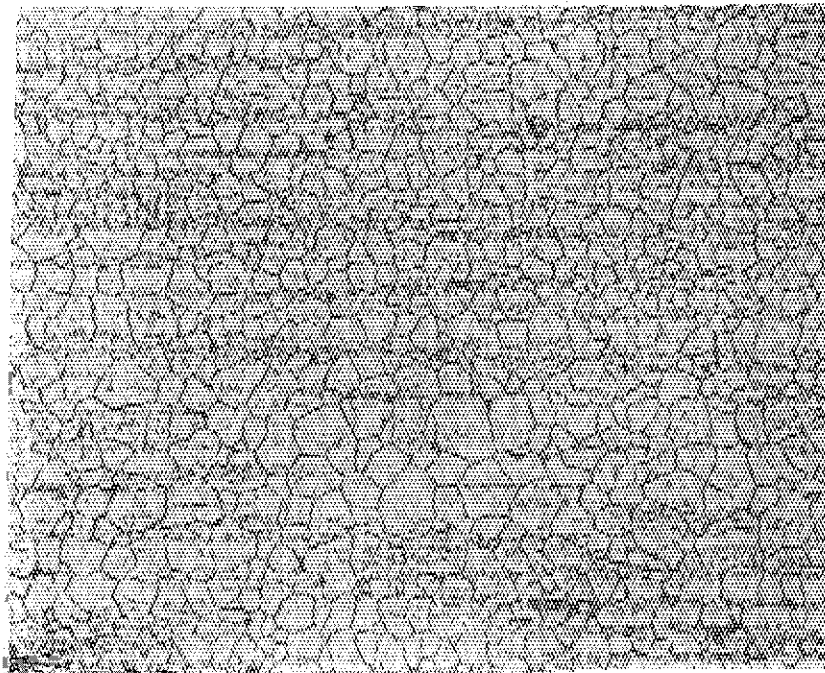


200 μm

Photo 8 材 質; ハステロイ X 鍛造材
 照射前処理; 溶体化+時効(900°C×700hr)
 照 射; 770°C×220hr, 1.5×10^{20} nvt
 照射後引張; 800°C, 歪速度 0.2mm/min, 伸び 45%
 エッチング条件; HCl 31cc, HNO₃ 1.7cc, H₂SO₄ 1cc 溶液
 30sec, 浸漬
 組 織; 鍛造方向に沿って未溶解炭化物M₆Cが析出, 粒界
 には時効時に析出したM₆C, 粒内に粗大化した
 M₆Cが析出。

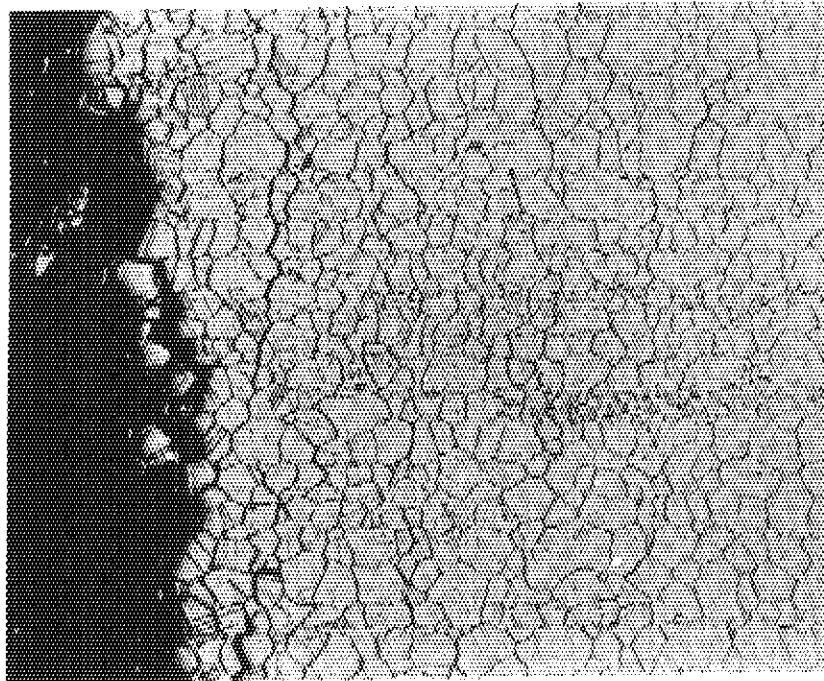


200 μm

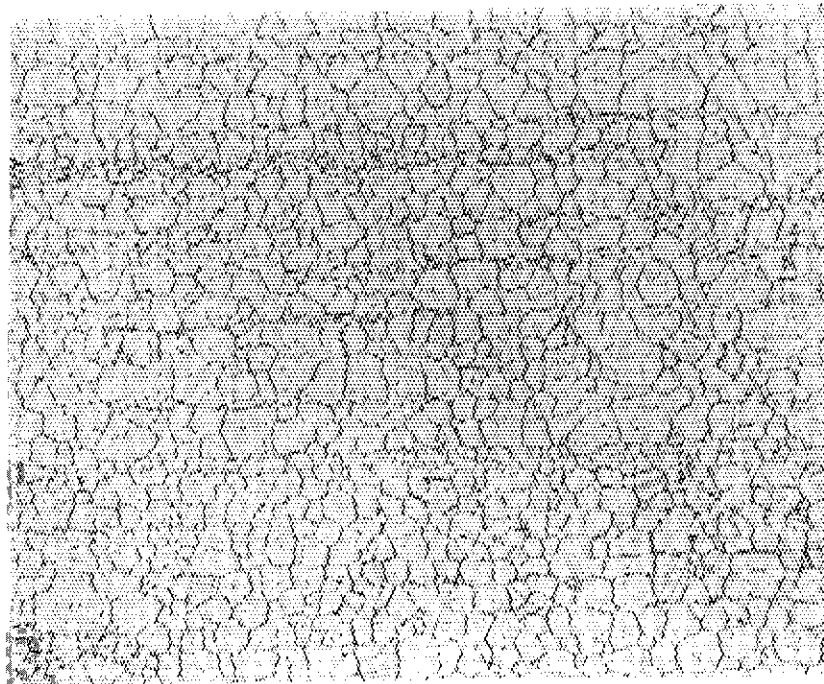


200 μm

Photo 9 材 質 ; ハステロイ X 鍛造材
 照射前処理 ; 溶体化+時効 (900°C×700hr)
 照 射 ; 900°C×220hr, 1.5×10^{20} nvt
 照射後引張 ; 900°C, 歪速度 0.2mm/min, 伸び 2.9%
 エッチング条件 ; HCl 31cc, HNO₃ 17cc, H₂SO₄ 1cc 溶液
 50sec 浸漬
 組 織 ; 鍛造方向に沿って未溶解炭化物M₆C, 粒界には析出炭化物M₆C。

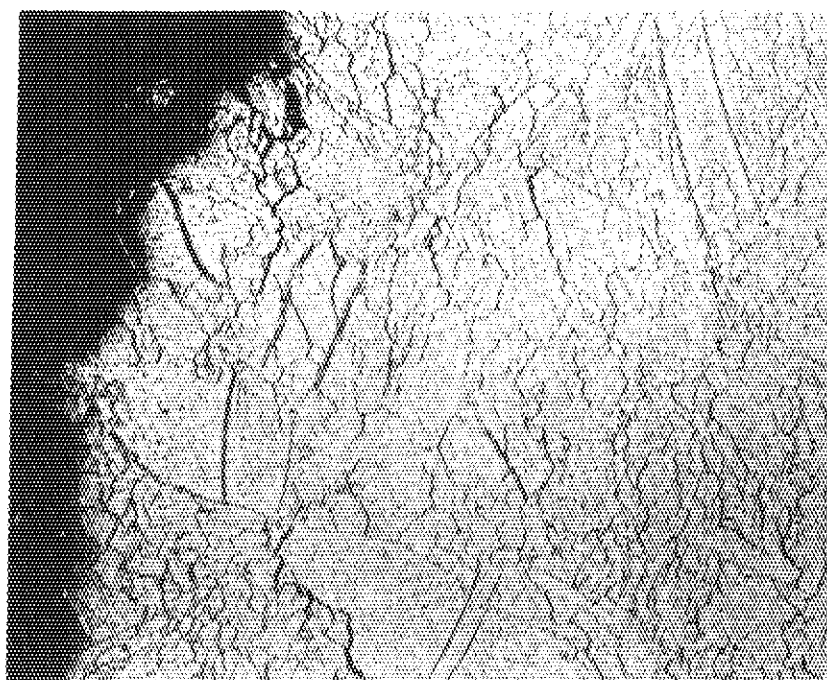


200 μm

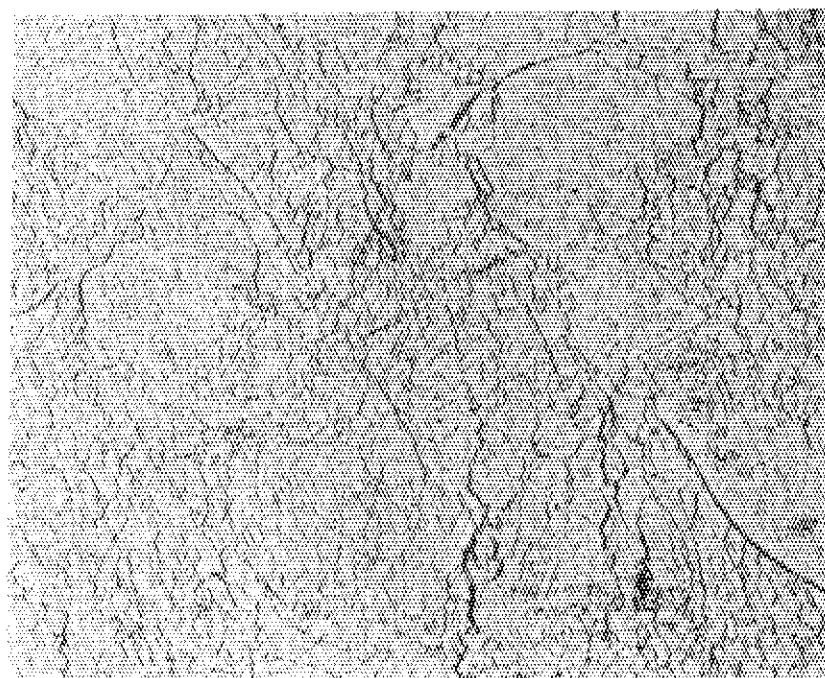


200 μm

Photo 10 材 質; ハステロイ X 鍛造材
照射前処理; 溶体化+時効(900°C×700hr)
照 射; 980°C×1130hr, 1.7×10^{20} nvt
照射後引張; 1000°C, 歪速度 0.2mm/min, 伸び 38%
エッチング条件; STRUERS 製汎用電解液(A-2液)
2.5V, 15sec
組 織; 鍛造方向に沿って未溶解炭化物, 粒界に析出炭化物
いずれも M_6C 。

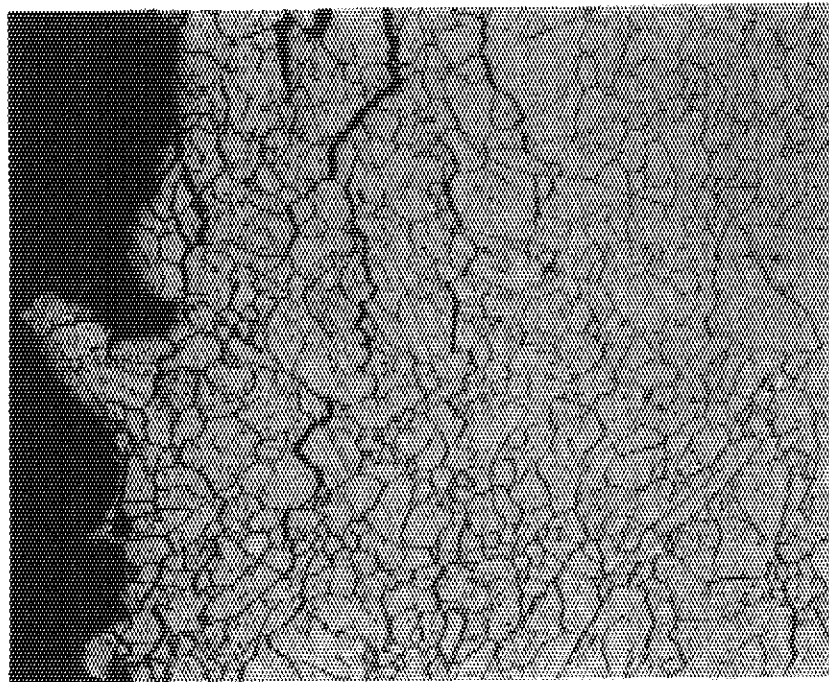


200 μm

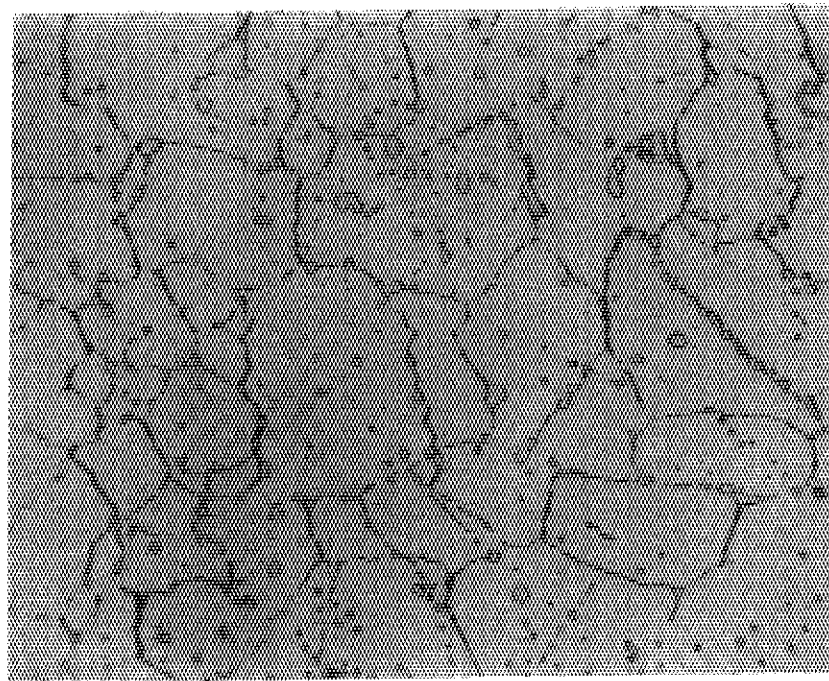


200 μm

Photo 11 材 質；ハステロイ X 圧延材
照射前処理；加工(30%) + 時効(950°C×100hr)
照 射；880°C×408hr, 7×10^{20} nvt
照射後引張；900°C, 歪速度 0.2mm/min, 伸び 40%
エッチング条件；STRUERS 製汎用電解液(A-2液)
4.0V, 15sec
組 織；再結晶が進行中の組織でマトリックス全面に
M₆Cが析出している。

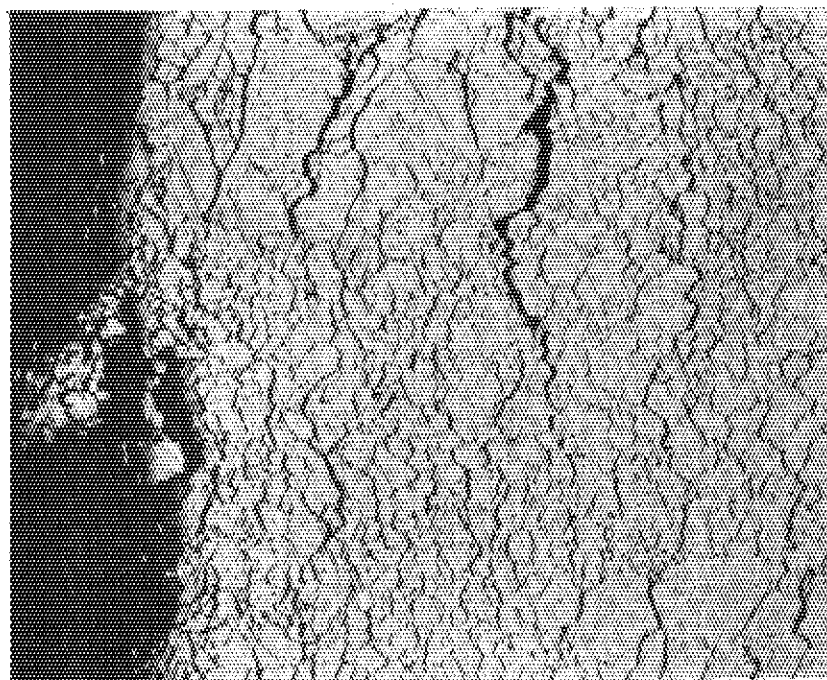


200 μm

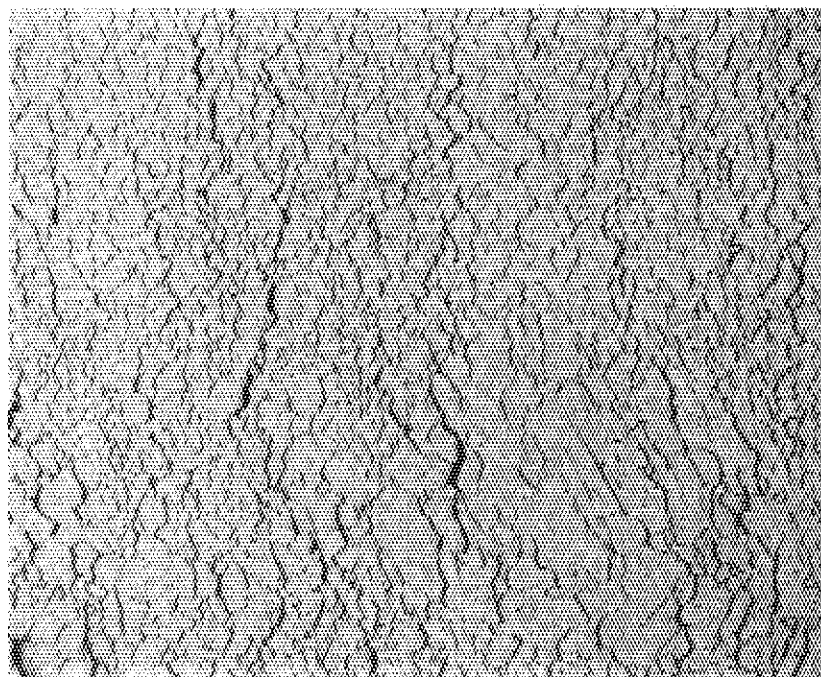


50 μm

Photo 12 材 質；ハステロイ X 圧延材
 照射前処理；加工 (50%) + 時効 (950°C × 3 hr)
 照 射；1000°C × 408 hr, 7×10^{20} nvt
 照射後引張；1000°C, 歪速度 0.2 mm/min, 伸び 50%
 エッチング条件；STRUERS 製汎用電解液 (A-2 液)
 40V, 12 sec
 組 織；再結晶の完了した組織で粒界および粒内に M_6C
 が析出している。

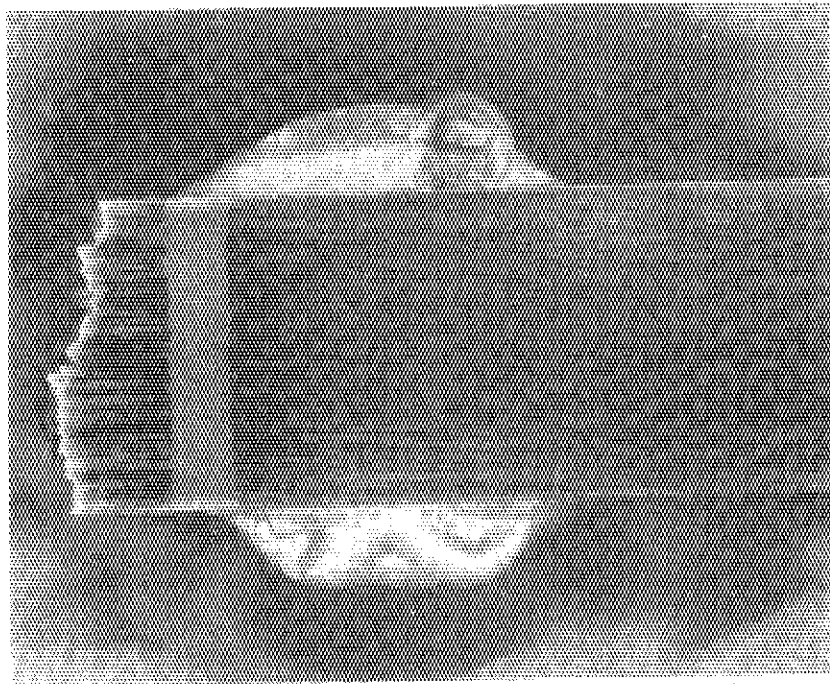


200 μm

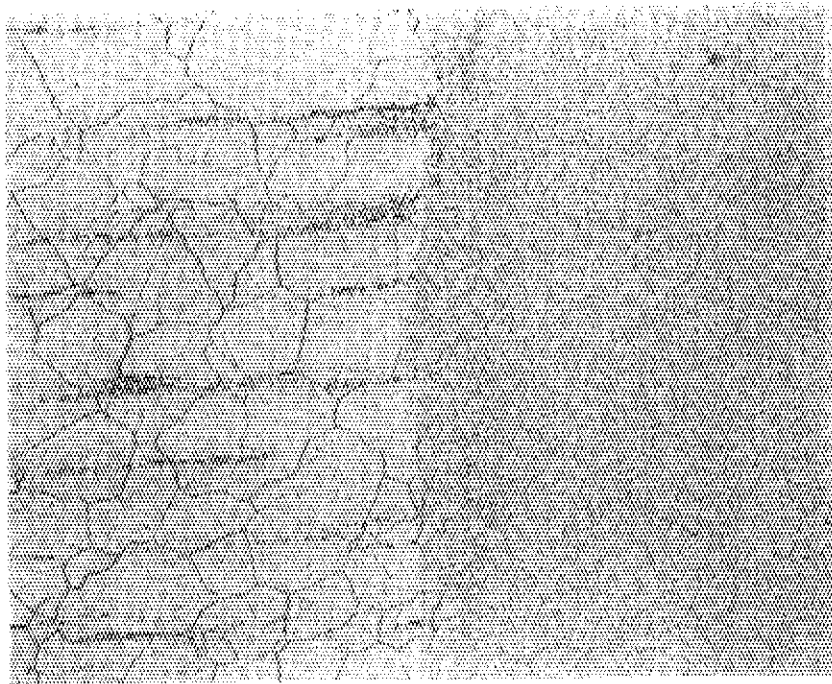


200 μm

Photo 13 材 質；ハステロイ X 圧延材
 照射前処理；加工(50%)+時効(950°C×100hr)
 照 射；1000°C×408hr, 7×10^{20} nvt
 照射後引張；1000°C, 歪速度 0.2mm/min, 伸び 7.0%
 エッチング条件；STRUERS 製汎用電解液(A-2液)
 3.16V, 20sec
 組 織；粒界および粒内に M_6C が析出, 引張軸と直角の
 粒界に沿って多数のマイクロクラックが発生し
 ている。

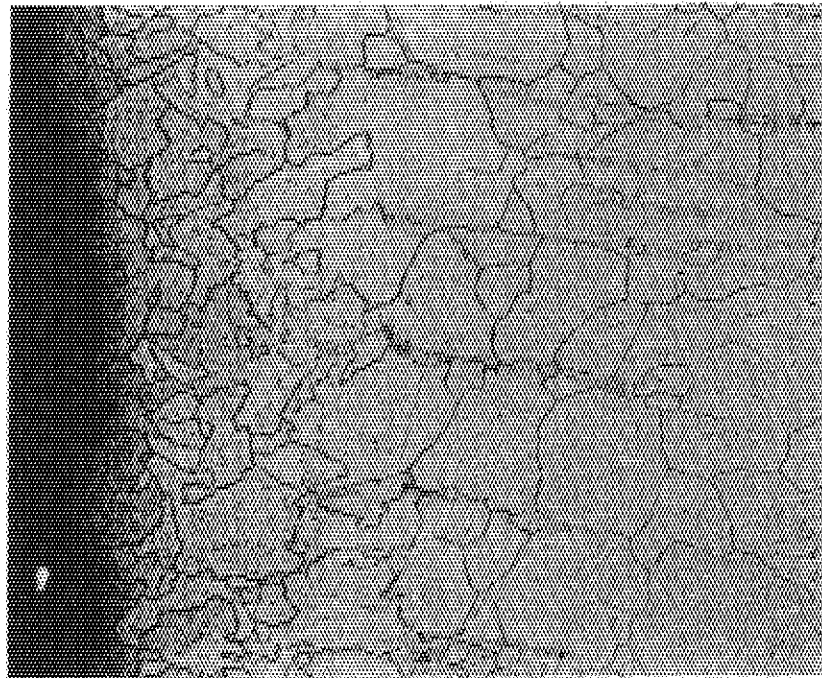


2 mm

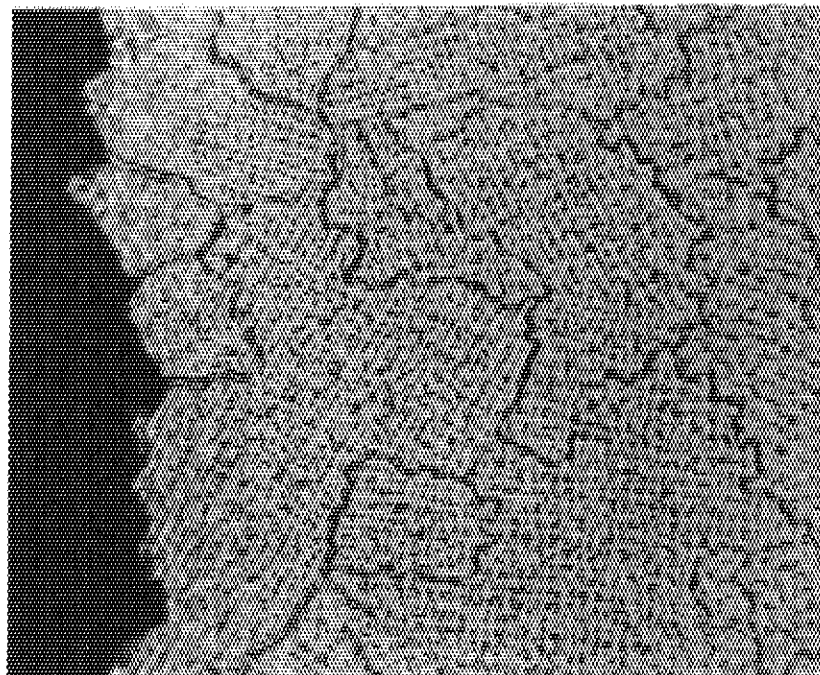


200 μm

Photo 14 材 質；ハステロイ X 鍛造材
 照射前処理；溶接
 照 射；850°C×1250 hr， 2×10^{21} nvt
 照射後引張；900°C，歪速度 0.2mm/min，伸び 2.6%
 エッチング条件；STRUERS 製汎用電解液（A-2 液）
 2.2 V，8 sec
 組 織；加工方向に沿って未溶解炭化物 M_6C 。母材および溶着金属部に M_6C が析出。母材で破断。

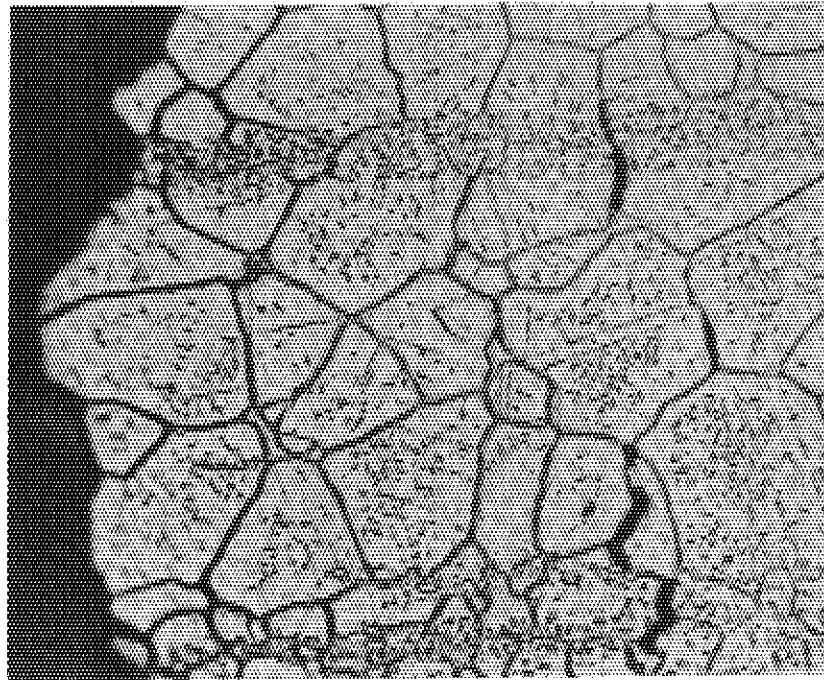


200 μm

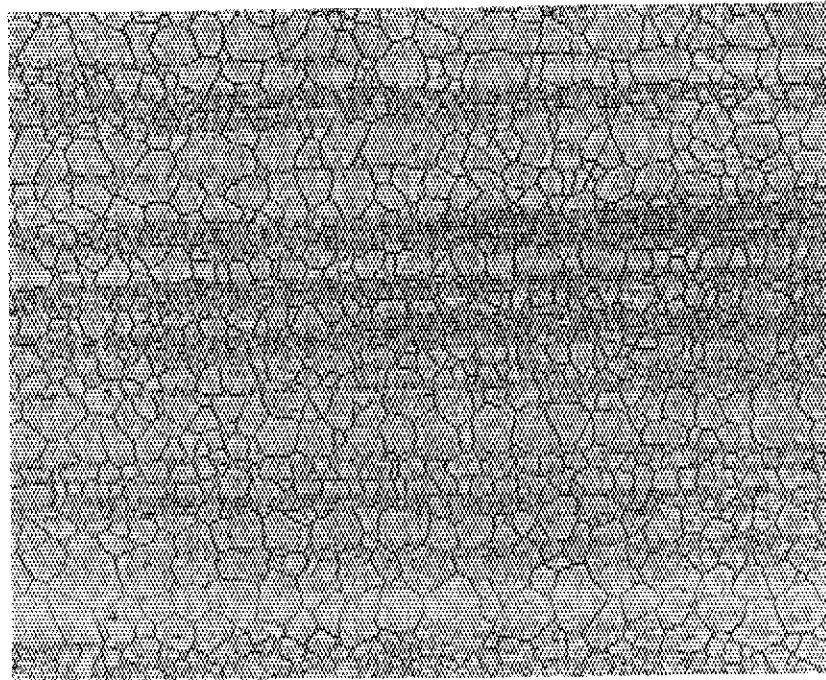


50 μm

Photo 15 材 質 ; ハステロイ X 鍛造材
 照射前処理 ; 溶接
 照 射 ; $850^{\circ}\text{C} \times 1250\text{hr}$, $2 \times 10^{21}\text{nvt}$
 照射後引張 ; 1000°C , 歪速度 $0.2\text{mm}/\text{min}$, 伸び 0.5%
 エッチング条件 ; STRUEERS 製汎用電解液 (A-2 液)
 2.3V 7sec
 組 織 ; 溶接部で破断。母材および溶着金属部に M_6C が析出。

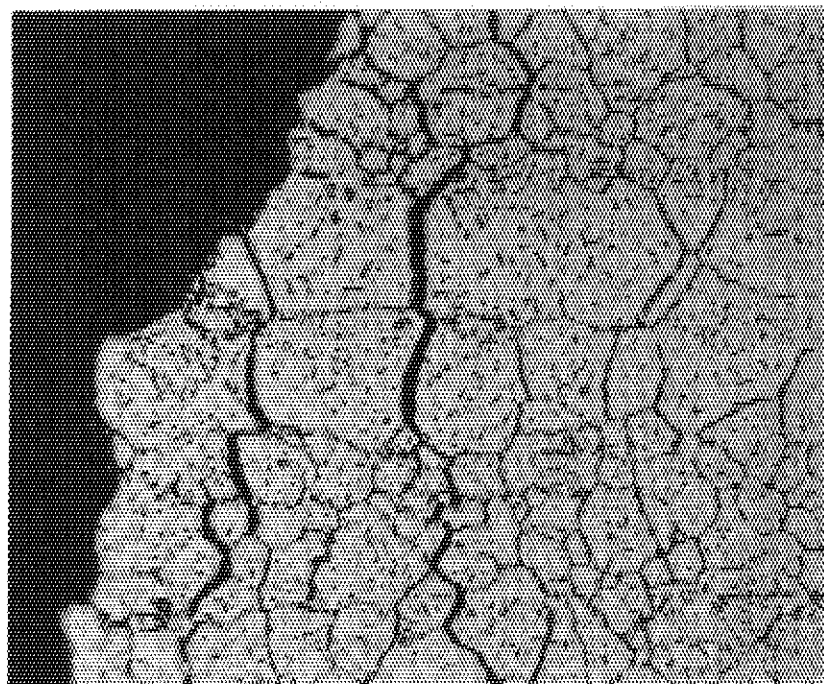


50 μm

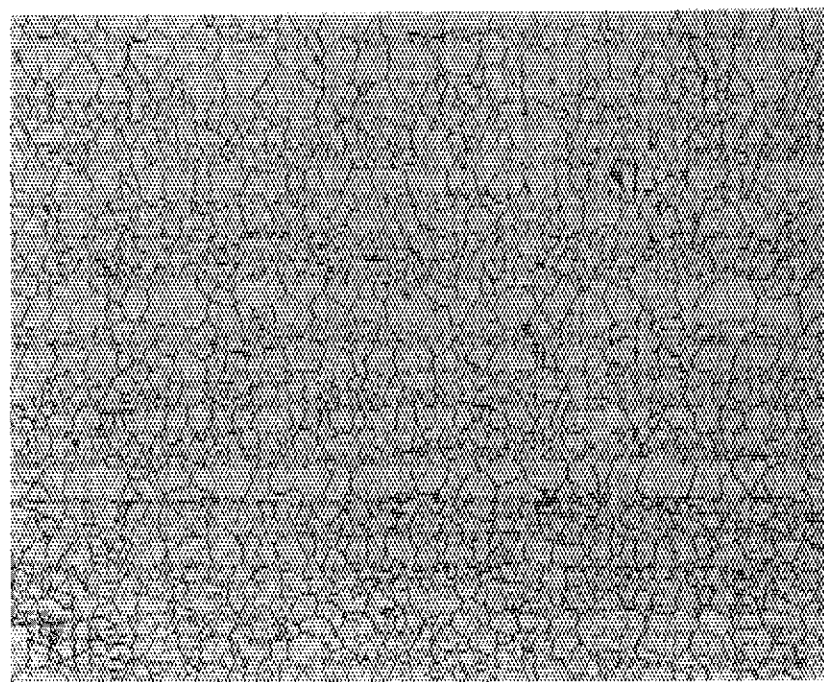


200 μm

Photo 16 材 質；ハステロイ X-Ti (0.43%) 鍛造材
 照射前処理；溶体化
 照 射；820°C×320hr, 2.1×10^{20} nvt
 照射後引張；800°C, 歪速度 0.2mm/min, 伸び 5.87%
 エッチング条件；STRUERS製汎用電解液 (A-2液)
 3.3V, 6sec
 組 織；ロール方向に沿って未溶解炭化物 M_6C 。微細な粒内析出物は照射中に析出した M_6C 。

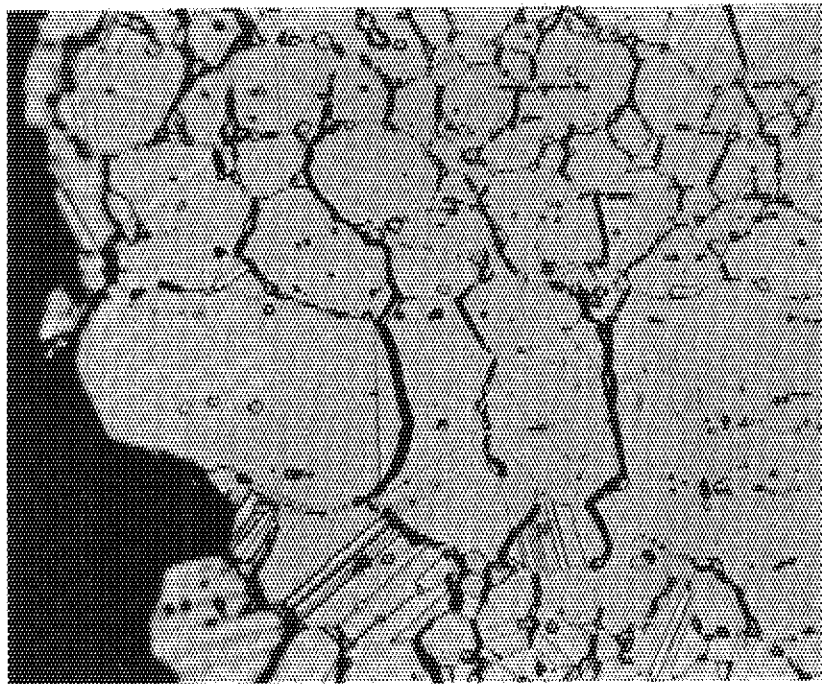


50 μm

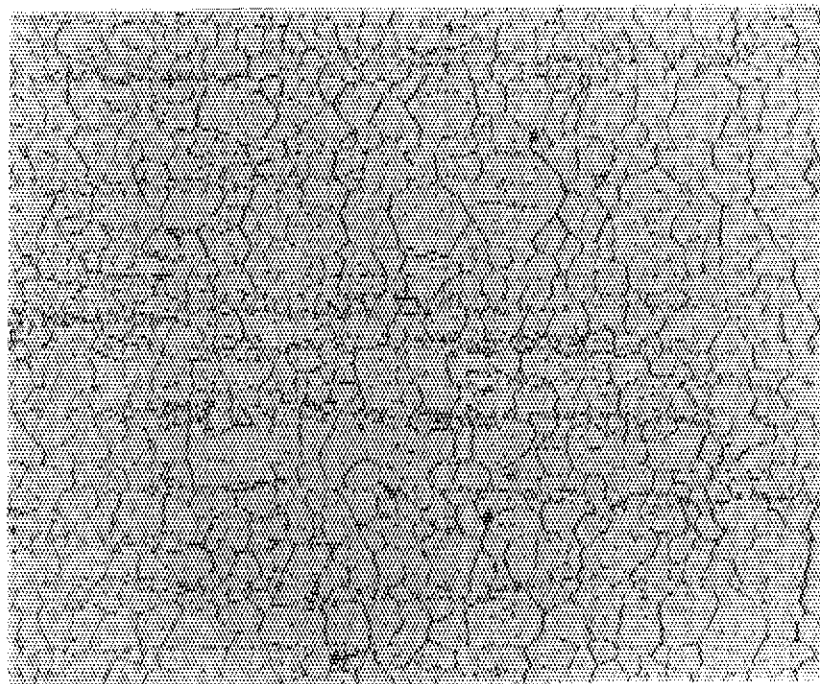


200 μm

Photo 17 材 質 ; ハステロイ X-Ti(0.43%) 鍛造材
 照射前処理 ; 溶体化
 照 射 ; 925°C×320 hr, 2.1×10^{20} nvt
 照射後引張 ; 1000°C, 歪速度 0.2mm/min, 伸び 1.83%
 エッチング条件 ; STRUERS 製汎用電解液 (A-2液)
 3.3 V, 6 sec
 組 織 ; 加工方向に沿って未溶解炭化物, 粒内に析出炭化物, いずれも M_6C 。

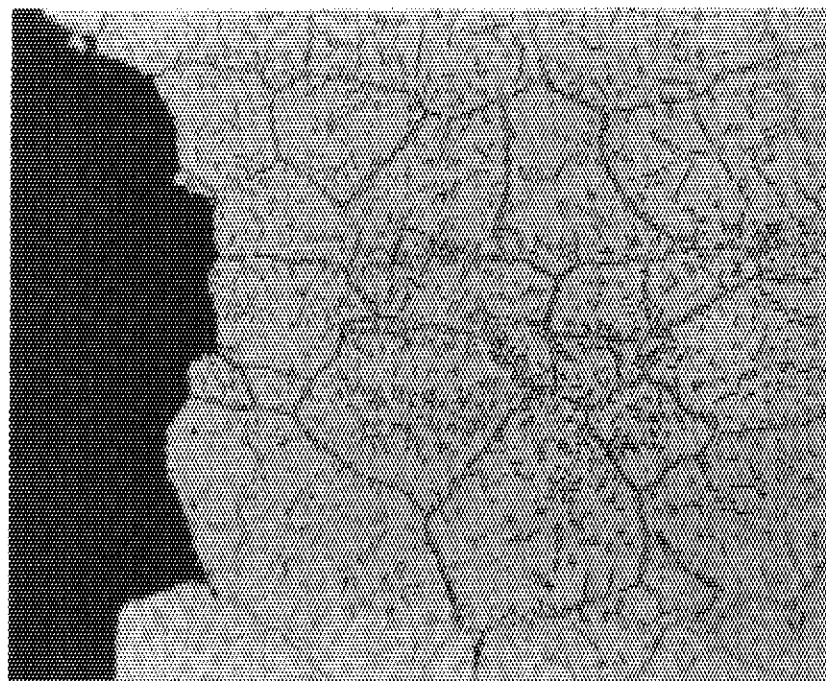


50 μm

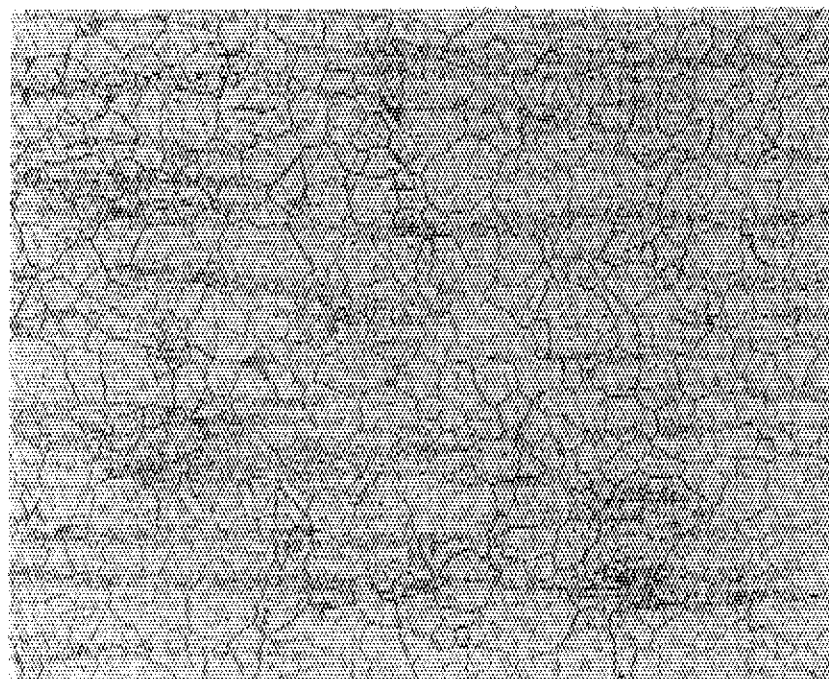


200 μm

Photo 18 材 質；ハステロイ X-Ti(0.43%) 鍛造材
 照射前処理；溶体化
 照 射；980°C×1130hr, 1.7×10^{20} nvt
 照射後引張；1000°C, 巻速度 0.2mm/min, 伸び 2.2%
 エッチング条件；STRUERS製汎用電解液(A-2液)
 2.5V, 17sec
 組 織；加工方向に沿って未溶解炭化物 M_6C , 粒界
 に球状の析出物, 粒界の三重点に M_6C 析出

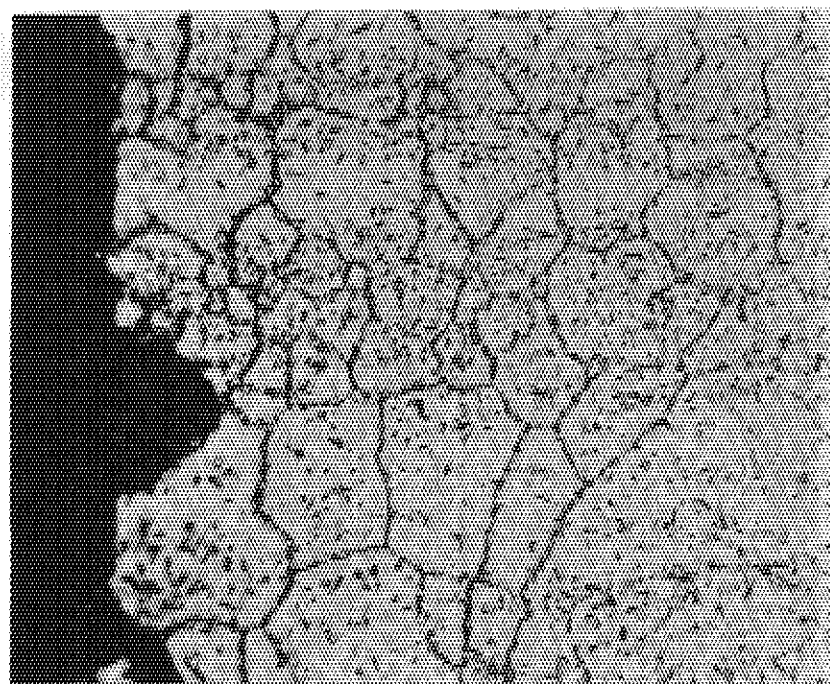


50 μm

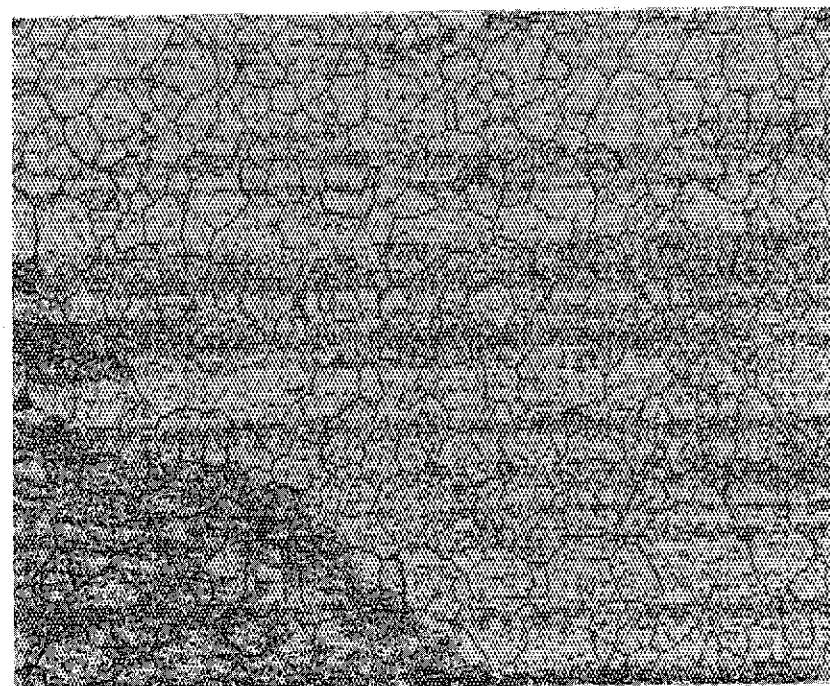


200 μm

Photo 19 材 質 ハステロイ X-Ti (0.43%) 鍛造材
 照射前処理 溶体化+時効 (900°C×700 hr)
 照 射 770°C×220 hr, 1.5×10^{20} nvt
 照射後引張 880°C, 歪速度 0.2mm/min, 伸び 4.6%
 エッチング条件 HCl 31 cc, HNO₃ 1.7 cc, H₂SO₄ 1 cc 溶液
 20 sec 浸漬
 組 織 鍛造方向に沿って未溶解炭化物M₆C, 粒界
 および粒内に時効で生じたM₆C, 炭化物の
 凝集粗大化がみられる。

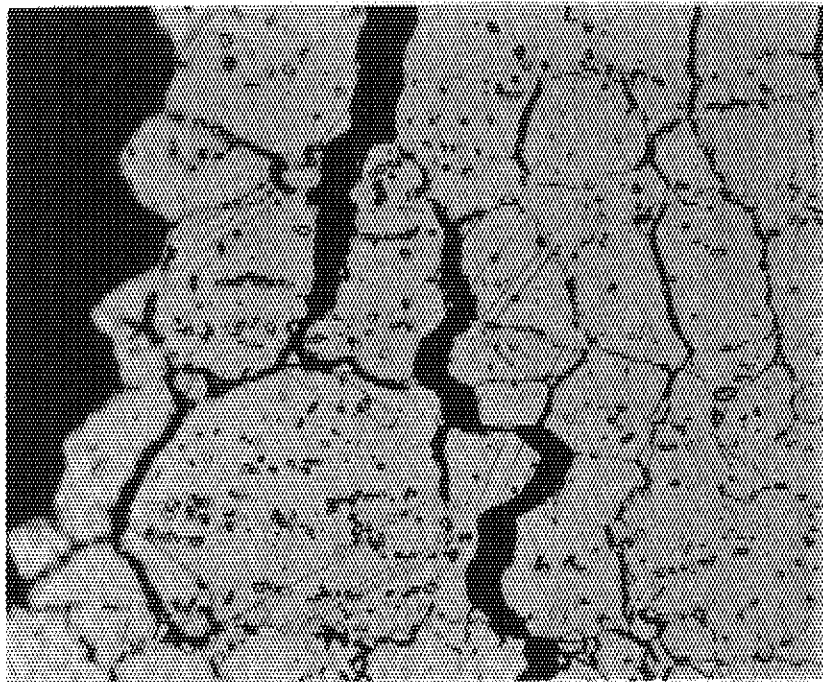


50 μm

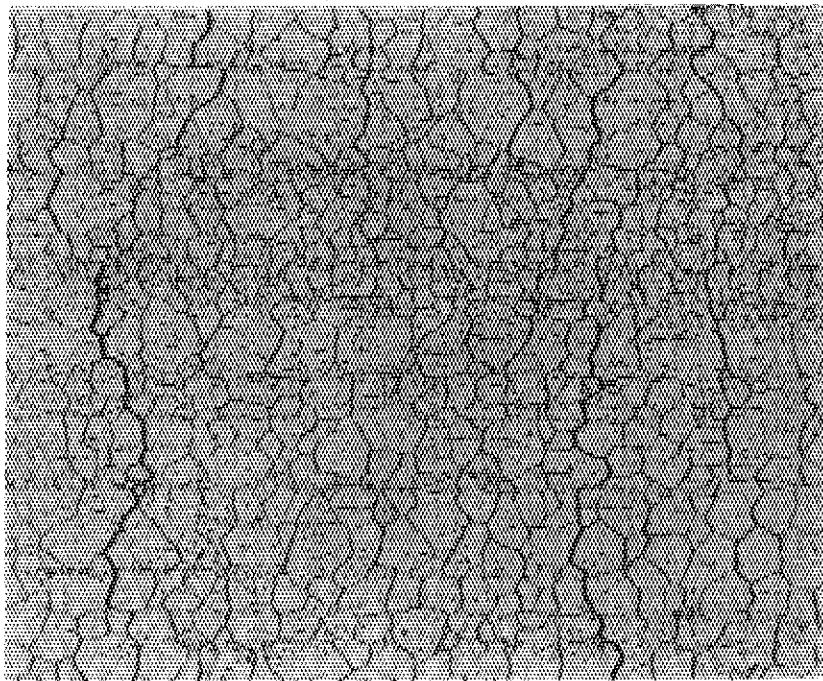


200 μm

Photo 20 材 質; ハステロイ X-Ti(0.43%) 鍛造材
 照射前処理; 溶体化+時効(900°C×700hr)
 照 射; 900°C×220hr, 1.5×10^{20} nvt
 照射後引張; 900°C, 歪速度 0.2mm/min, 伸び 1.4%
 エッチング条件; STRUERS 製汎用電解液(A-2液)
 2.5V, 13sec
 組 織; 鍛造方向に沿って未溶解炭化物 M_6C , 粒内および粒界に粒状析出物 M_6C , 炭化物の凝集粗大化が顕著。

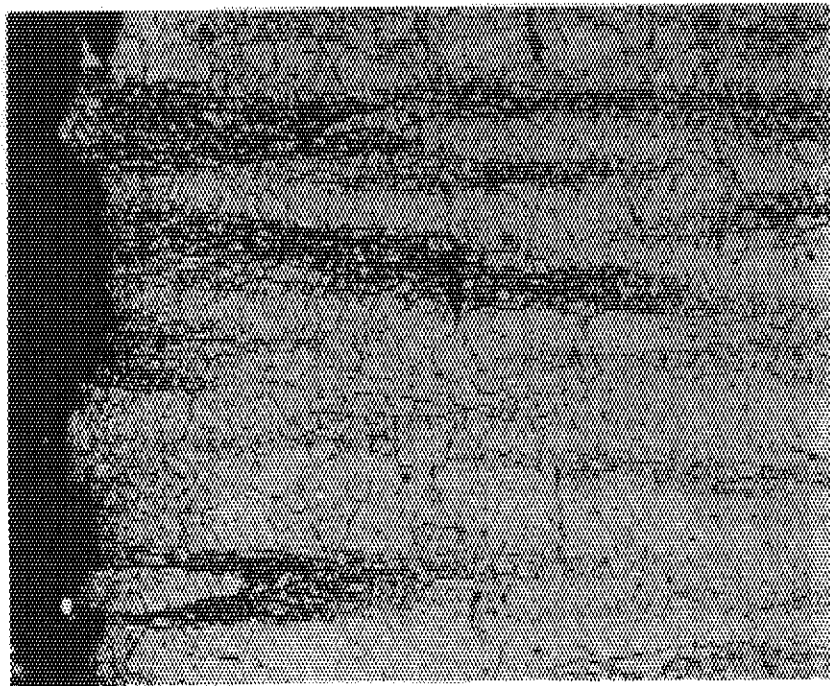


50 μm

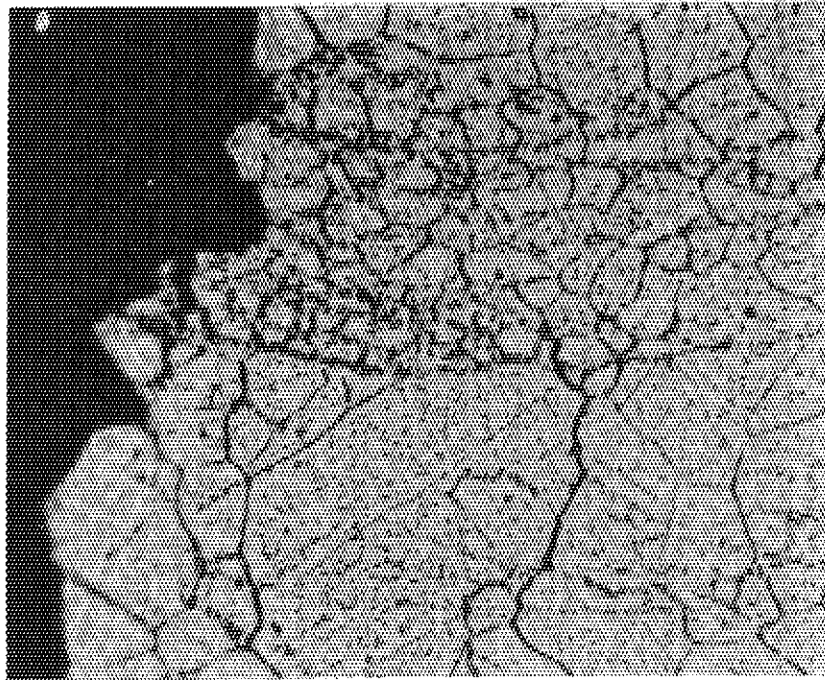


200 μm

Photo 21 材 質 ; ハステロイ X-Ti(0.43%) 鍛造材
 照射前処理 ; 溶体化+時効(900°C×700hr)
 照 射 ; 980°C×1130hr, 1.7×10^{20} nvt
 照射後引張 ; 1000°C, 歪速度 0.2mm/min, 伸び 1.8%
 エッチング条件 ; STRUERS 製汎用電解液 (A-2液)
 25V, 15sec
 組 織 ; 少量の未溶解炭化物と粒界および粒内の粒状
 析出物, 標準材にくらべ定常変形部のマイク
 ロクラックが多く伸びは1/2以下である。

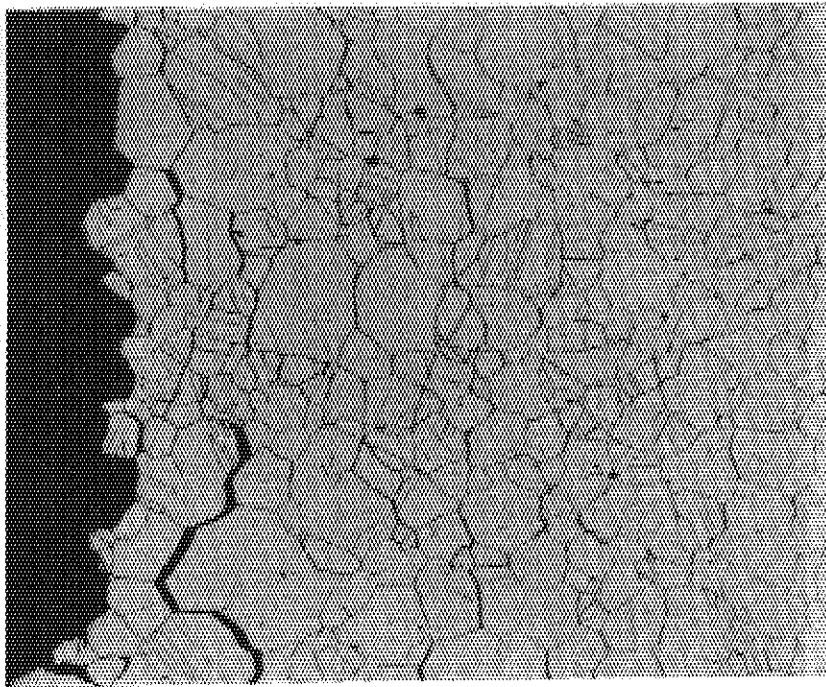


200 μm

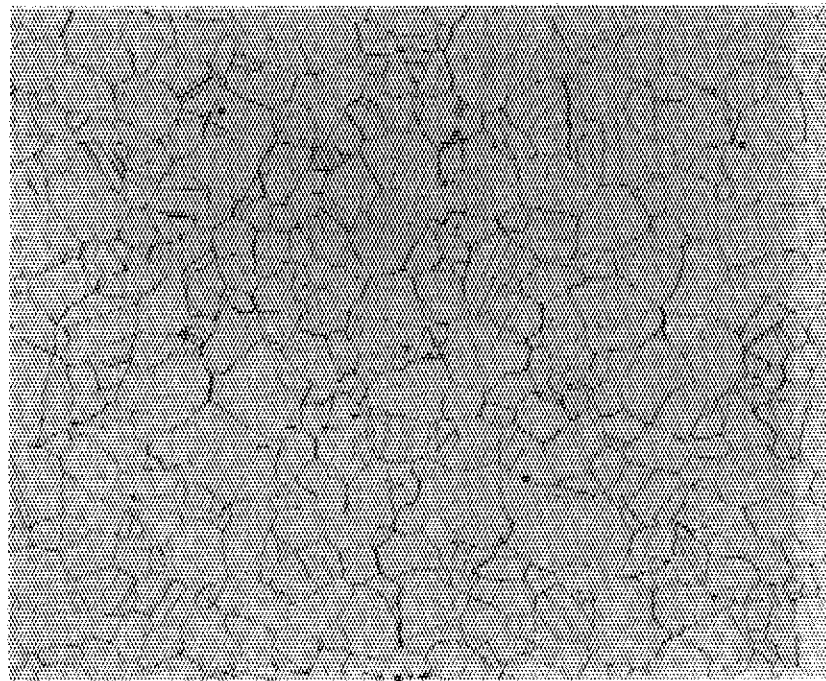


50 μm

Photo 22 材 質；ハステロイ X (Zr, Ce 添加材) 鍛造材
 照射前処理；溶体化
 照 射；860°C×320hr, 2.1×10^{20} nvt
 照射後引張；900°C, 歪速度 0.2mm/min, 伸び13.2%
 エッチング条件；STRUERS製汎用電解液(A-2液)
 3.5V, 10sec
 組 織；ASTM粒度5~6と10~11が層状に重な
 った組織でマトリックス全面に照射中に生じ
 た M_6C が析出している。

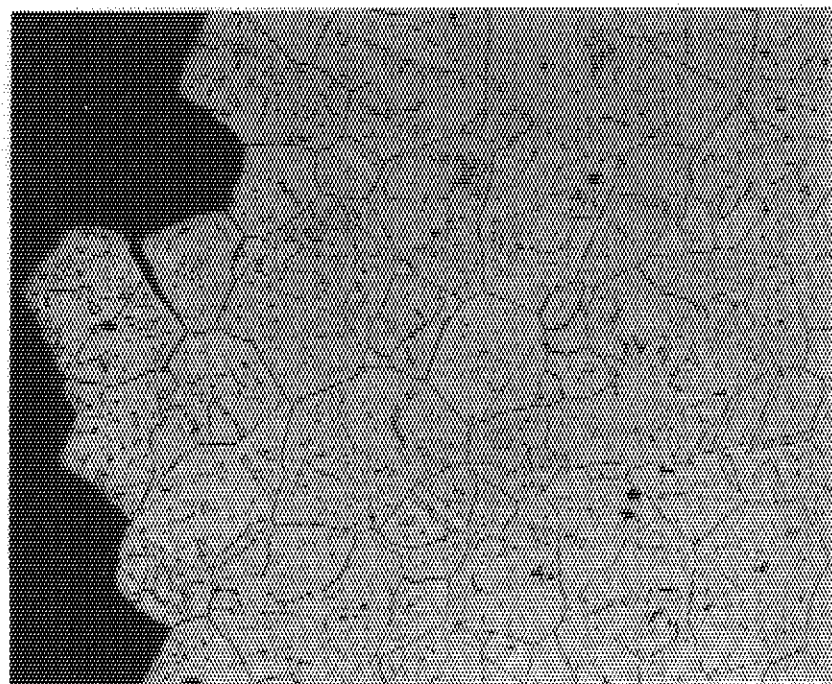


200 μm

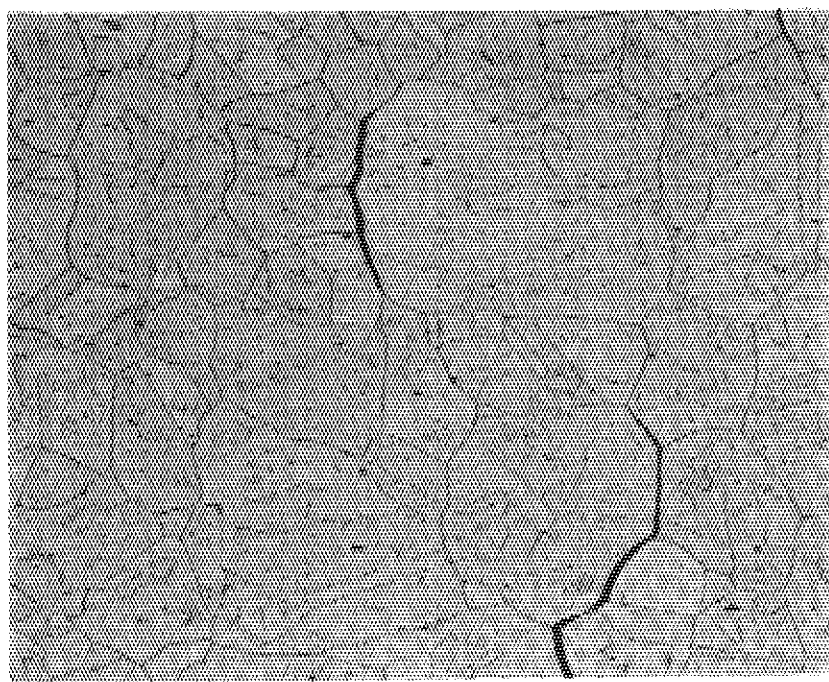


200 μm

Photo 23 材 質； インコネル 600 鍛造材
照射前処理； 溶体化
照 射； 980°C×320hr, 2.1×10^{20} nvt
照射後引張； 1000°C, 歪速度 0.2mm/min, 伸び 2.93%
エッチング条件； STRUERS 製汎用電解液 (A-2液)
2.6V, 35 sec
組 織； ほとんどの炭化物がマトリックスに固溶している
焼鈍双晶が多い。



200 μm



200 μm

Photo 24 材 質 ; インコネル 600 圧延材
 照射前処理 ; 溶体化 + 時効 (800°C × 500 hr)
 照 射 ; 860°C × 1250 hr, 2×10^{21} nvt
 照射後引張 ; 900°C, 歪速度 0.2mm/min, 伸び 0.4%
 エッチング条件 ; STRUEERS 製汎用電解液 (A-2 液)
 2.5V, 40 sec
 組 織 ; 粒界, 双晶境界, 粒内に Cr_7C_3 とと思われる炭化物
 が析出している。少量の未溶解炭化物もみられる。

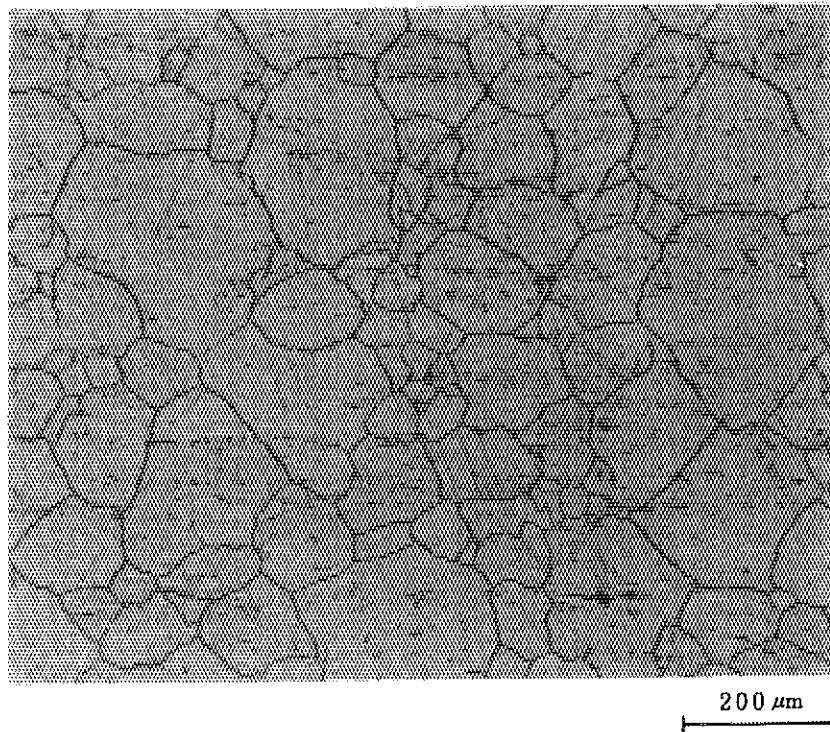
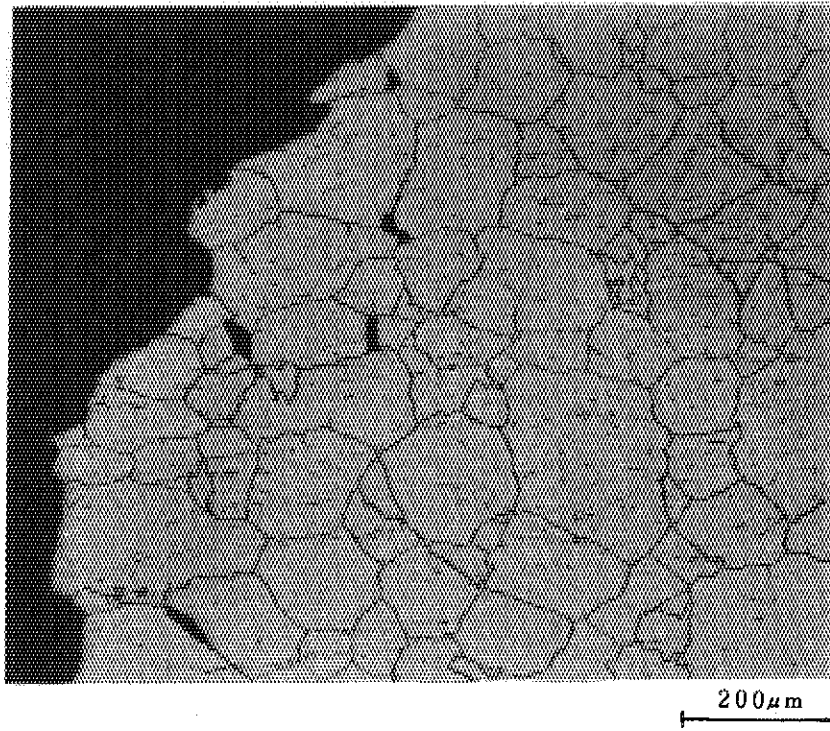
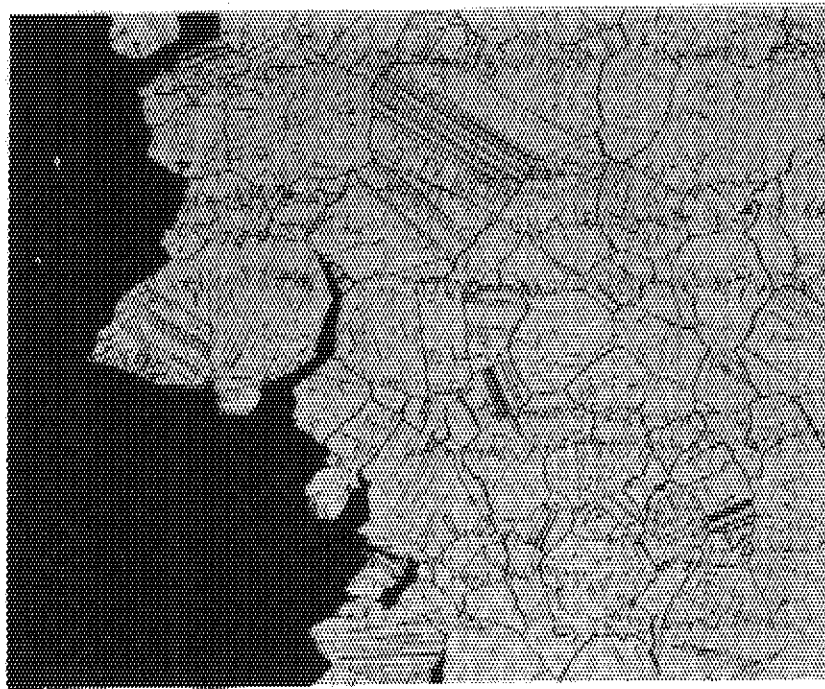
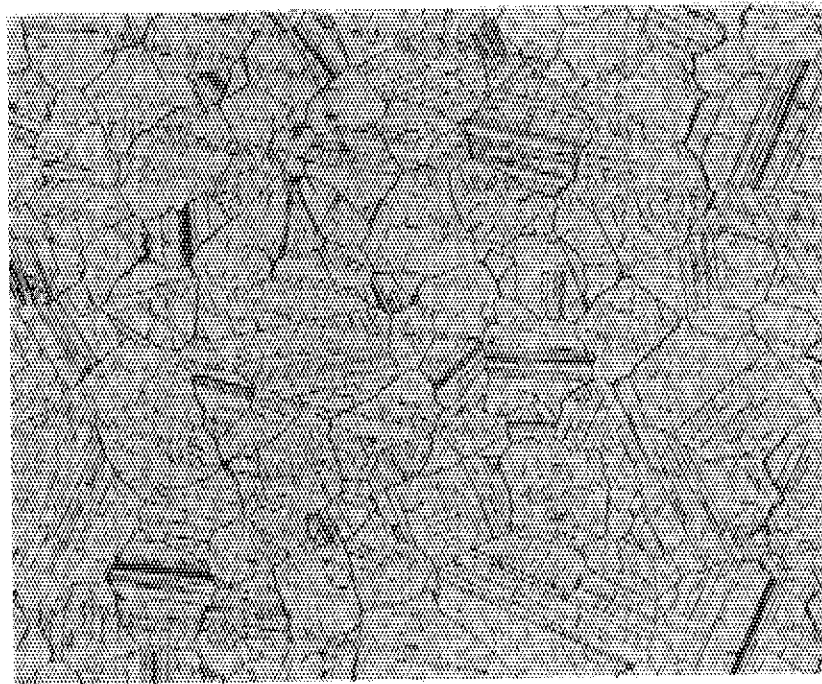


Photo 25 材 質; インコネル 625 鍛造材
 照射前処理; 溶体化
 照 射; 820°C×320 hr, 2.1×10^{20} nvt
 照射後引張; 800°C, 歪速度 0.2mm/min, 伸び 5.4%
 エッチング条件; HCl 31 cc, HNO₃ 1.7 cc, H₂SO₄ 1 cc 溶液
 23 sec 浸漬
 組 織; 加工方向に沿って少量の未溶解炭化物, 粒内に
 微細な析出物が存在する。

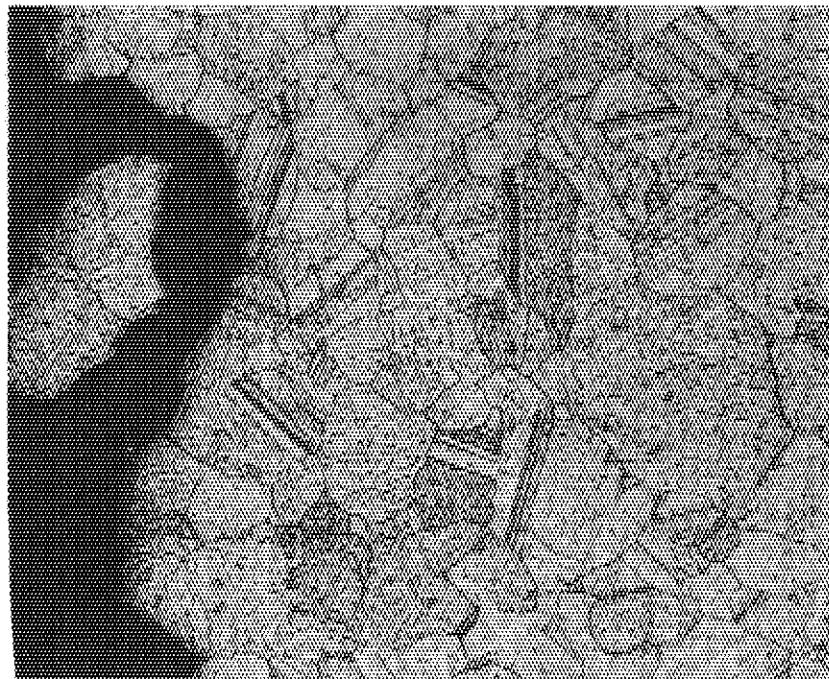


200 μm

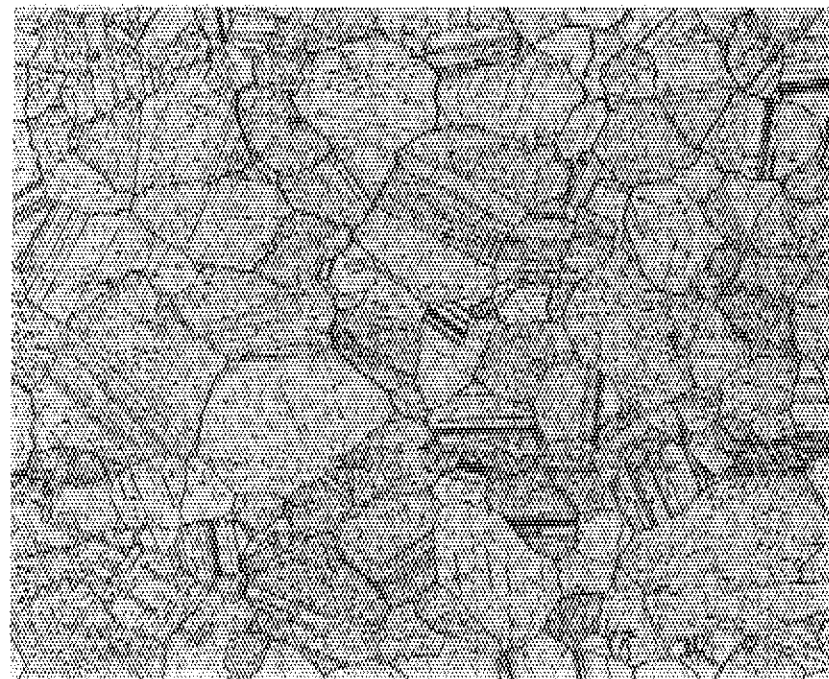


200 μm

Photo 26 材 質；インコネル 625 鍛造材
 照射前処理；溶体化
 照 射；890°C×220hr, 1.5×10^{20} nvt
 照射後引張；900°C, 歪速度 10mm/min, 伸び 9.1%
 エッチング条件；HCl 31cc HNO₃ 1.7 cc H₂SO₄ 1cc 溶液
 90 sec 浸漬
 組 織；少量の未溶解炭化物と粒内にウィドマンステッ
 テン型の析出物M₆C。焼鈍双晶が多くみられる。

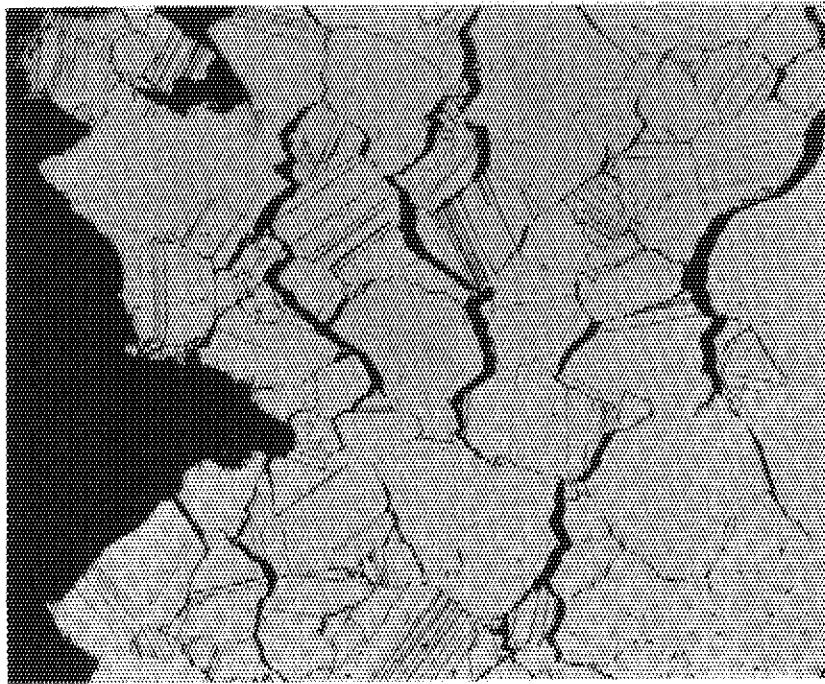


200 μm

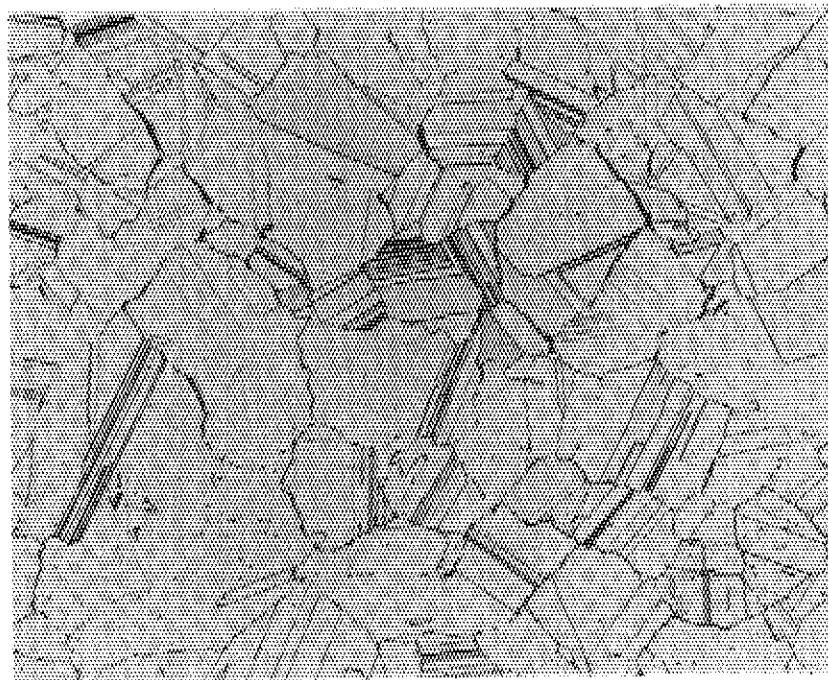


200 μm

Photo 27 材 質； インコネル 625 鍛造材
 照射前処理； 溶体化
 照 射； $925^{\circ}\text{C} \times 320\text{hr}$, $2.1 \times 10^{20} \text{ nvt}$
 照射後引張； 1000°C , 歪速度 $0.2\text{mm}/\text{min}$, 伸び 5.13%
 エッチング条件； HCl 20 cc , $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 5 cc , CaCl_2 2g 溶液
 90 sec 浸漬
 組 織； 少量の未溶解炭化物。マトリックス全面にウィドマンステッテン型の析出物, いずれも M_6C 。

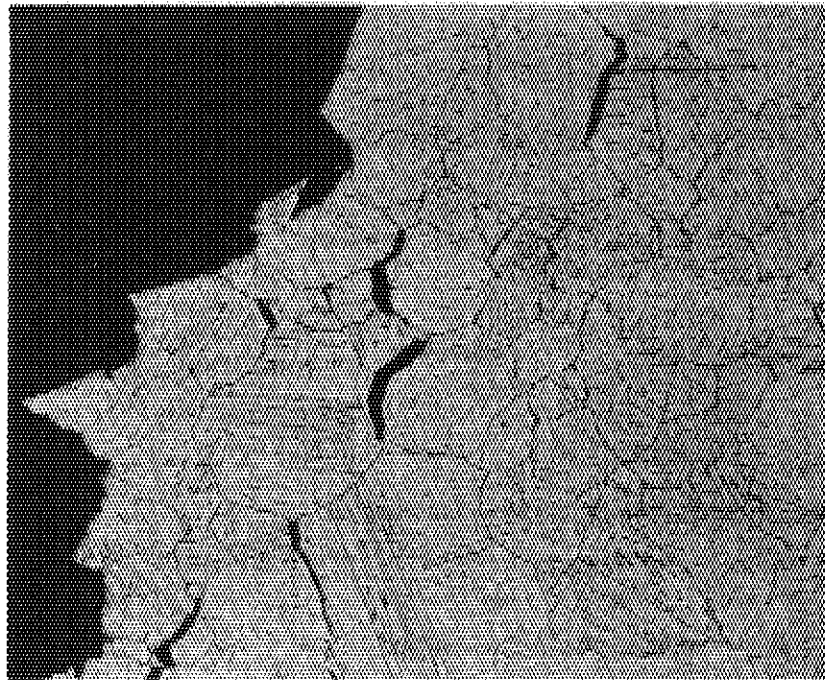


200 μ m

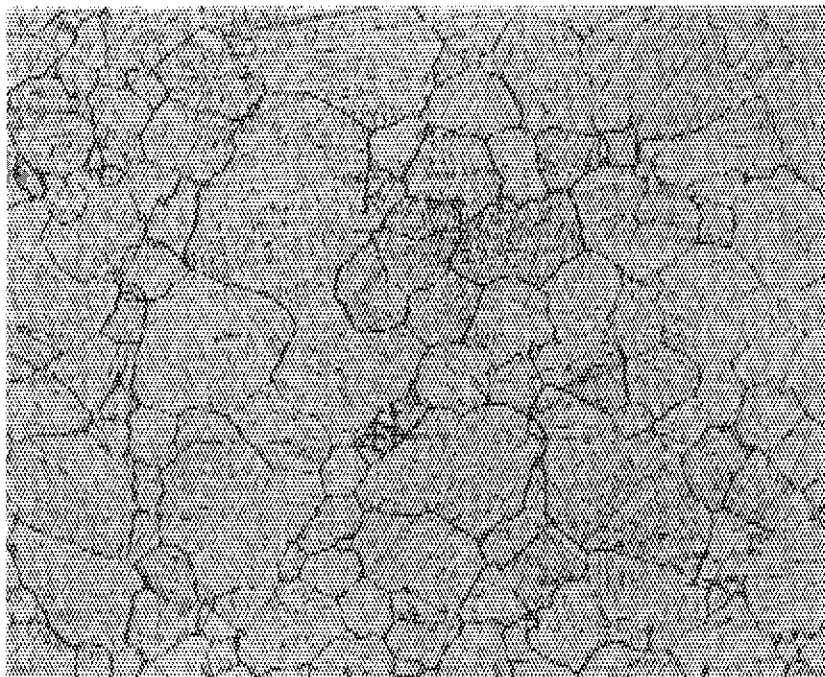


200 μ m

Photo 28 材 質; インコネル 625 鍛造材
 照射前処理; 溶体化
 照 射; $1000^{\circ}\text{C} \times 1130 \text{ hr}$, $1.7 \times 10^{20} \text{ nvt}$
 照射後引張; 1000°C , 歪速度 0.2 mm/min , 伸び 7.1%
 エッチング条件; Hcl 3l cc, HNO_3 1.7 cc, $\text{H}_2 \text{SO}_4$ 1cc 溶液
 240 sec 浸漬
 組 織; 少量の未溶解炭化物と微細析出物 M_6C をわずかに
 残すだけでほとんどの炭化物が固溶している。

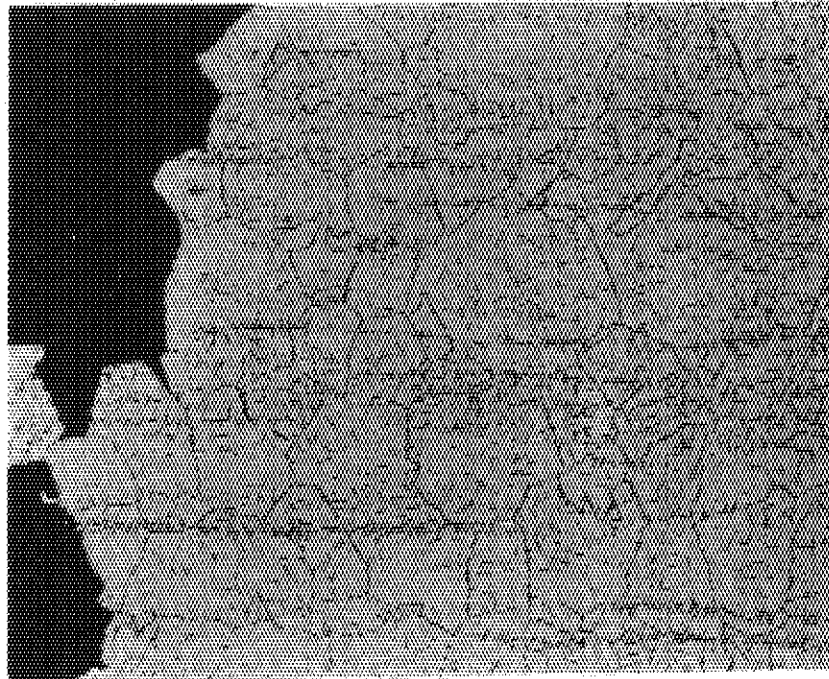


200 μm

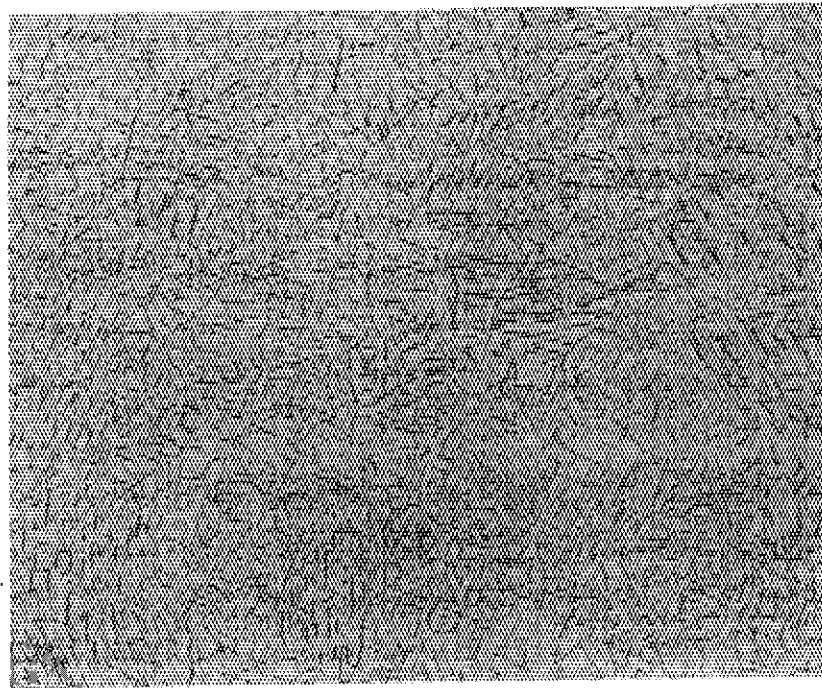


200 μm

Photo 29 材 質 ; インコネル 625 鍛造材
 照射前処理 ; 溶体化+時効 (900°C×700 hr)
 照 射 ; 770°C×220 hr, 1.5×10^{20} nvt
 照射後引張 ; 800°C, 歪速度 0.2mm/min, 伸び 41%
 エッチング条件 ; HCl 31cc, HNO₃ 1.7cc, H₂SO₄ 1cc 溶液
 30 sec 浸漬
 組 織 ; 時効処理中に析出したウィドマンステッテン型の析
 出物 M₆C。

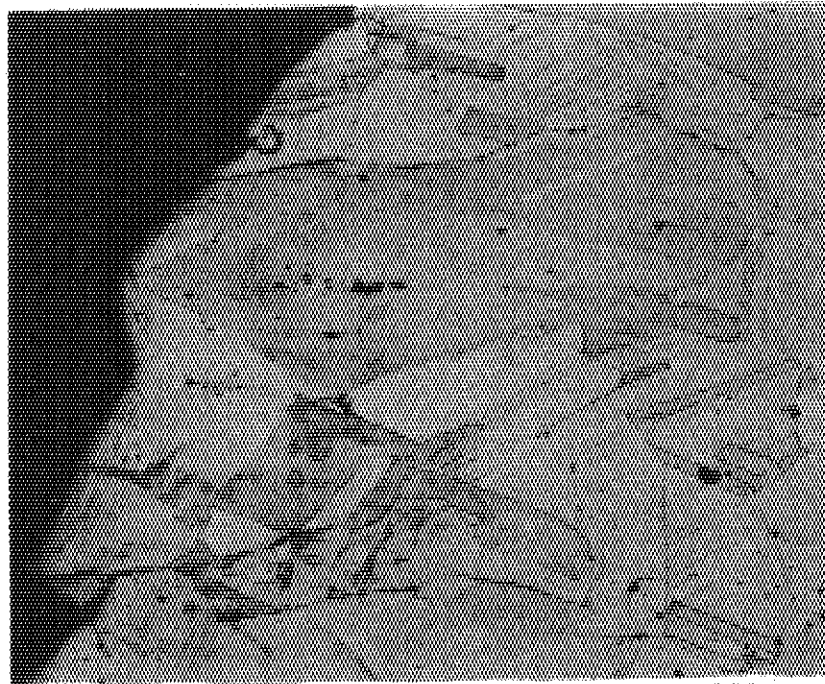


200 μm

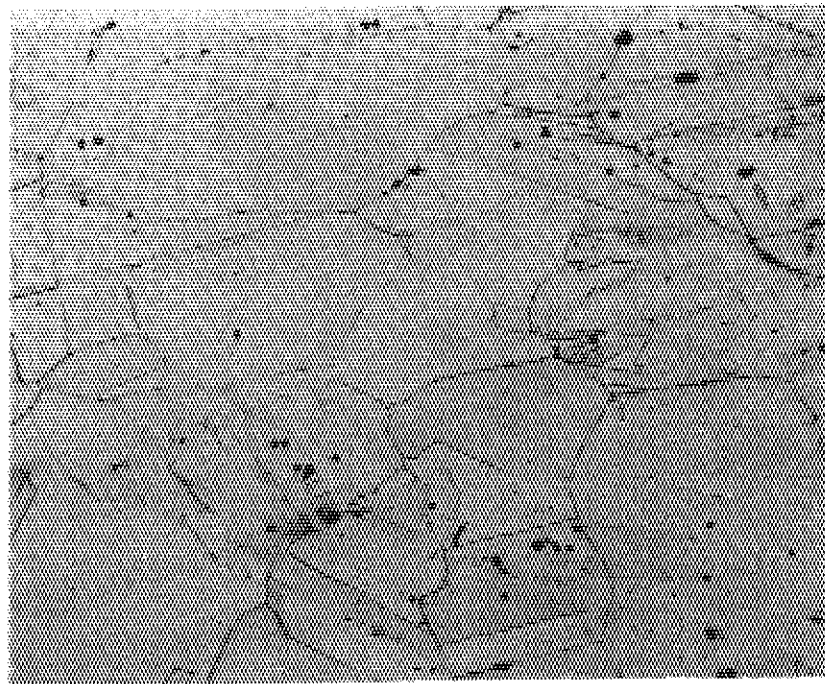


200 μm

Photo 30 材 質；インコネル 625 鍛造材
 照射前処理；溶体化+時効(900°C×700hr)
 照 射；900°C×220hr, 1.5×10^{20} nvt
 照射後引張；900°C, 歪速度 0.2mm/min, 伸び 30%
 エッチング条件；Hcl 3lcc, HNO₃ 1.7cc, H₂SO₄ 1cc 溶液
 30sec 浸漬
 組 織；少量の未溶解炭化物と粒内にウィドマンステッテン型
 の炭化物, 粒界に粒状炭化物, いずれも M₆C

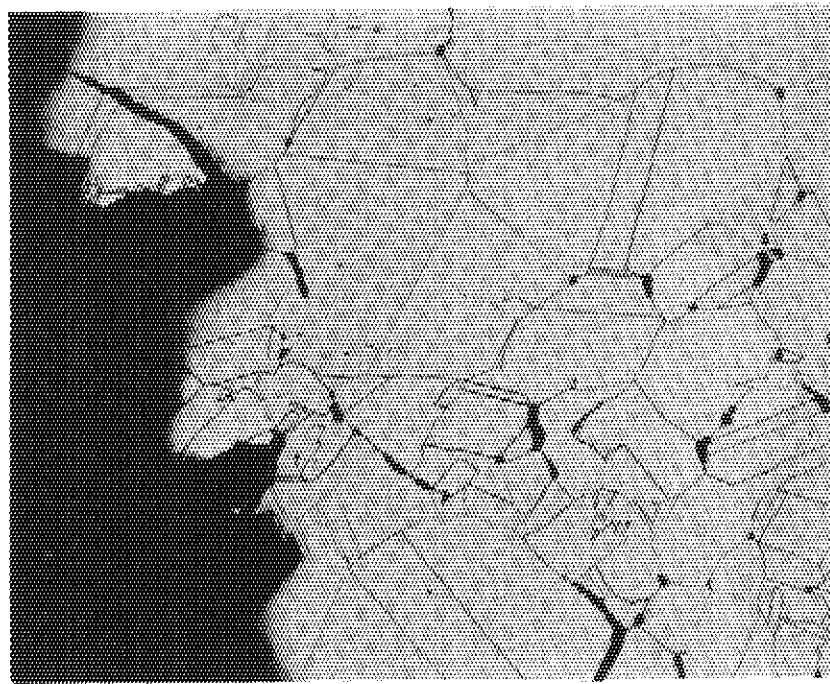


200 μm

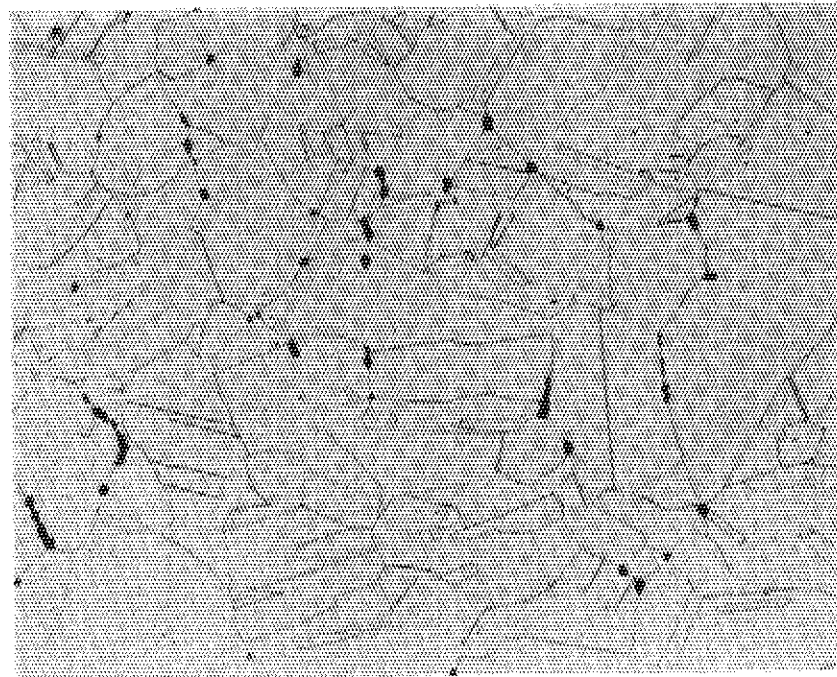


200 μm

Photo 31 材 質 ; インコネル X 750 圧延材
 照射前処理 ; 溶体化
 照 射 ; 850°C×1250hr., 2×10^{21} nvt
 照射後引張 ; 室温, 歪速度 0.2mm/min, 伸び 35.3%
 エッチング条件 ; HCl 32cc, HNO₃ 4.5cc, H₂SO₄ 7.5cc 溶液
 10sec 浸漬
 組 織 ; 特定の結晶面にスリップバンドがみえ二重入りも起っ
 ている。大きな角ばった析出物は未溶解のTi炭窒化物。
 粒界にみられる微細な析出物はM₂₃C₆。

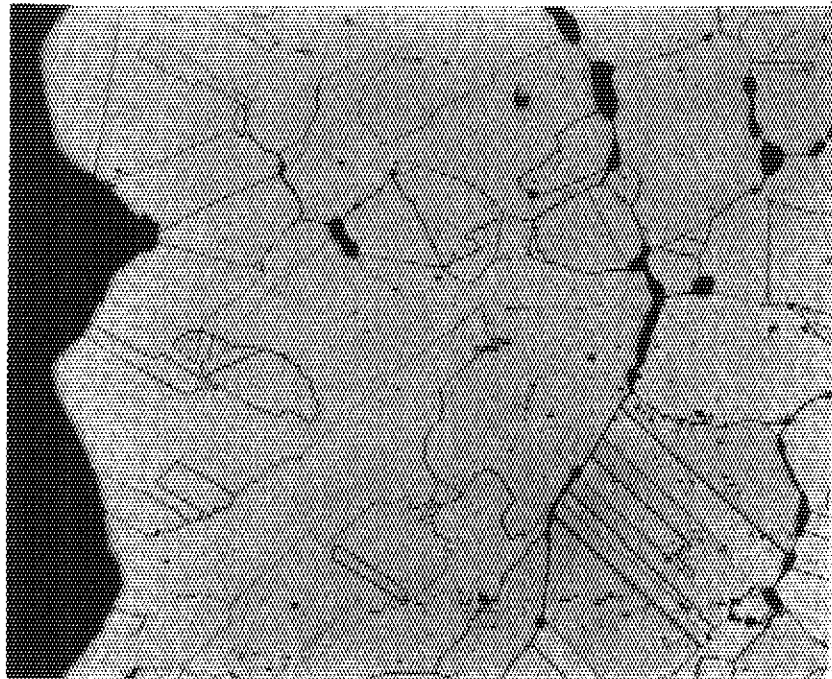


200 μm

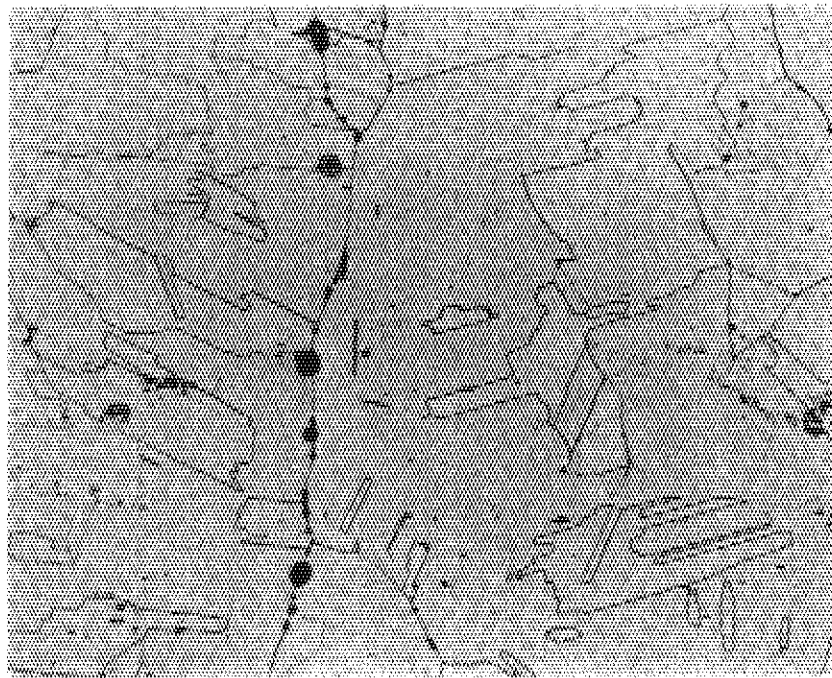


200 μm

Photo 32 材 質； インコネル X 750 鍛造材
 照射前処理； 溶体化
 照 射； $980^{\circ}\text{C} \times 320\text{hr}$, $2.1 \times 10^{20} \text{ nvt}$
 照射後引張； 1000°C , 歪速度 $0.2\text{mm}/\text{min}$, 伸び 4.47%
 エッチング条件； HCl 32cc, HNO_3 4.5cc, H_2SO_4 7.5cc 溶液
 15sec 浸漬
 組 織； 粒界の黒点は析出物がエッチングで侵されて生じたもの
 あるいは楕円形空隙(round type crack), 角ばった
 析出物は Ti 炭窒化物。

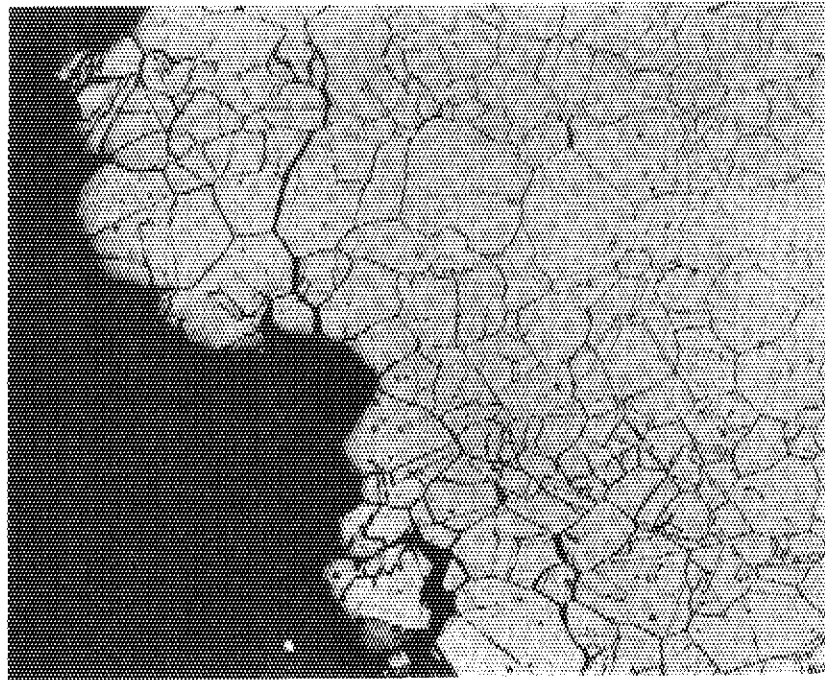


200 μm

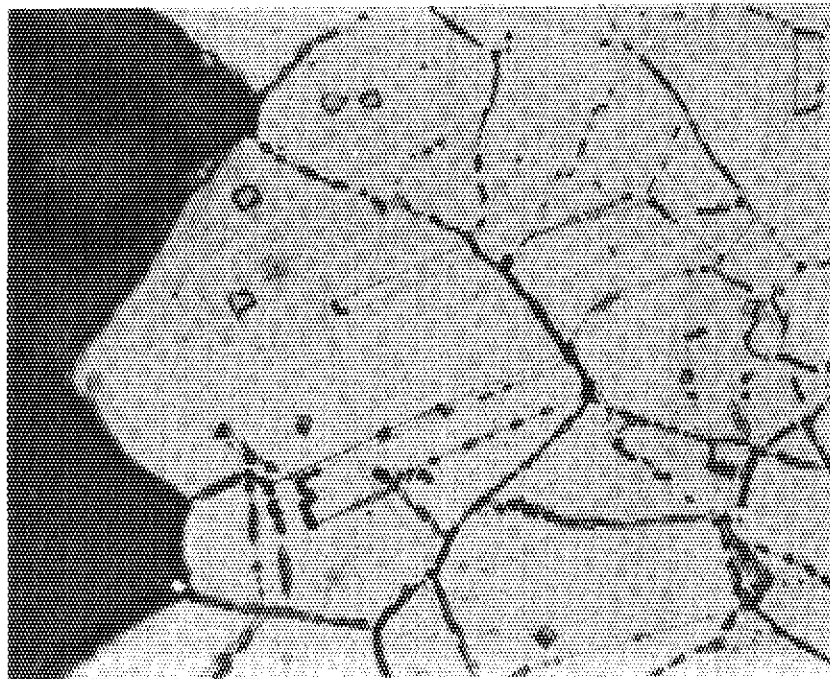


200 μm

Photo 33 材 質 ; インコネル X 750 圧延材
 照射前処理 ; 溶体化+時効 (850°C×500hr)
 照 射 ; 860°C×1250hr, 2×10^{21} nvt
 照射後引張 ; 1000°C, 歪速度 0.2mm/min, 伸び 2.96%
 エッチング条件 ; HCl 32cc, HNO₃ 45cc, H₂SO₄ 7.5cc 溶液
 15 sec 浸漬
 組 織 ; 未溶解の Ti 炭窒化物と微細な析出物。粒界の黒点は析出物がエッチングで侵されて生じたもの、あるいは round type crack。

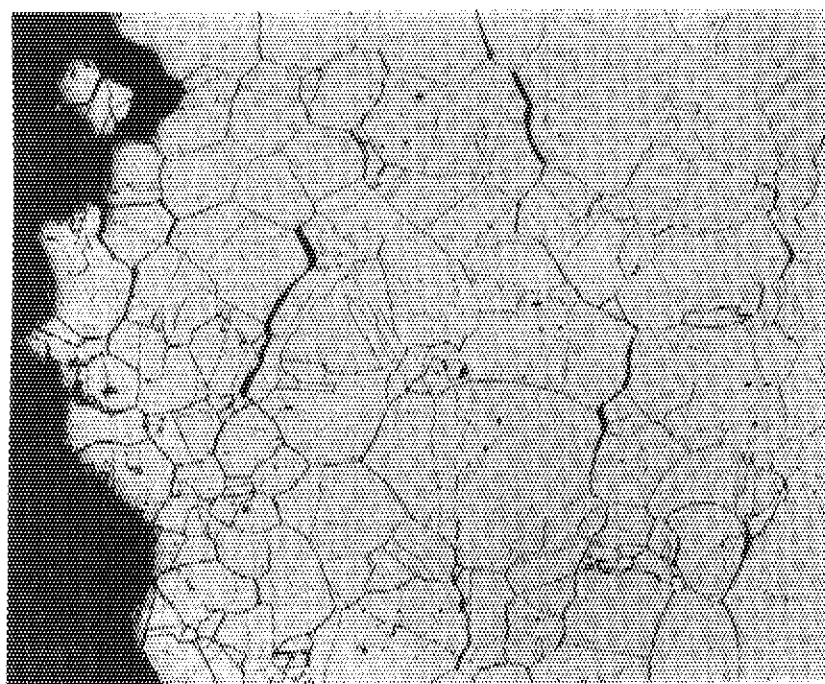


200 μm

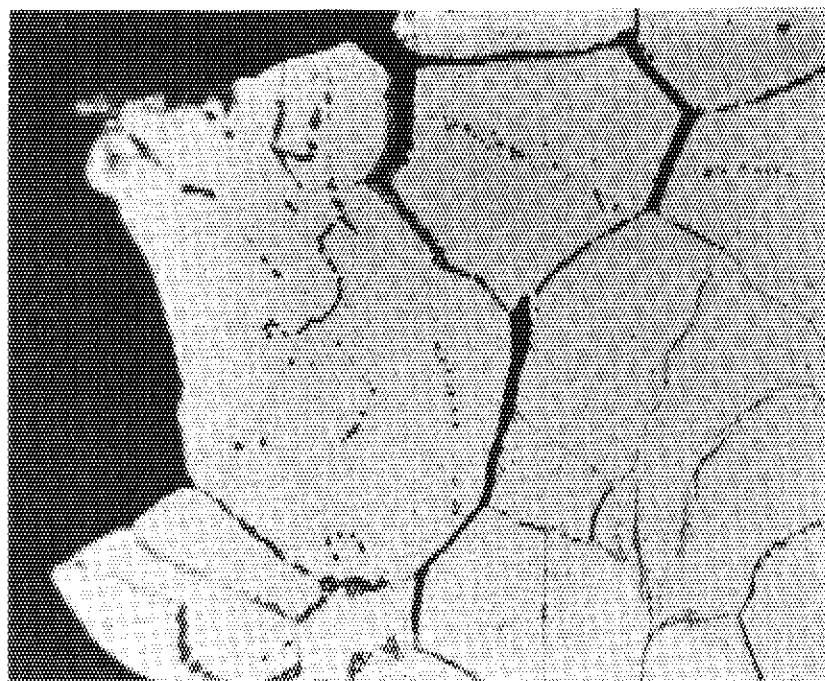


50 μm

Photo 34 材 質；インコイ 800 新規格材 (Ti 入り)，鍛造材
 照射前処理；溶体化
 照 射；980°C×320 hr， 2.1×10^{20} nvt.
 照射後引張；1000°C，歪速度 0.2mm/min，伸び 101%
 エッチング条件；STRUERS 製汎用電解液 (A-2 液)
 2.8V，70 sec
 組 織；未溶解の Ti 炭窒化物。粒界，双晶境界に粒状の析出物が凝集し，クラックの発生源となっている。

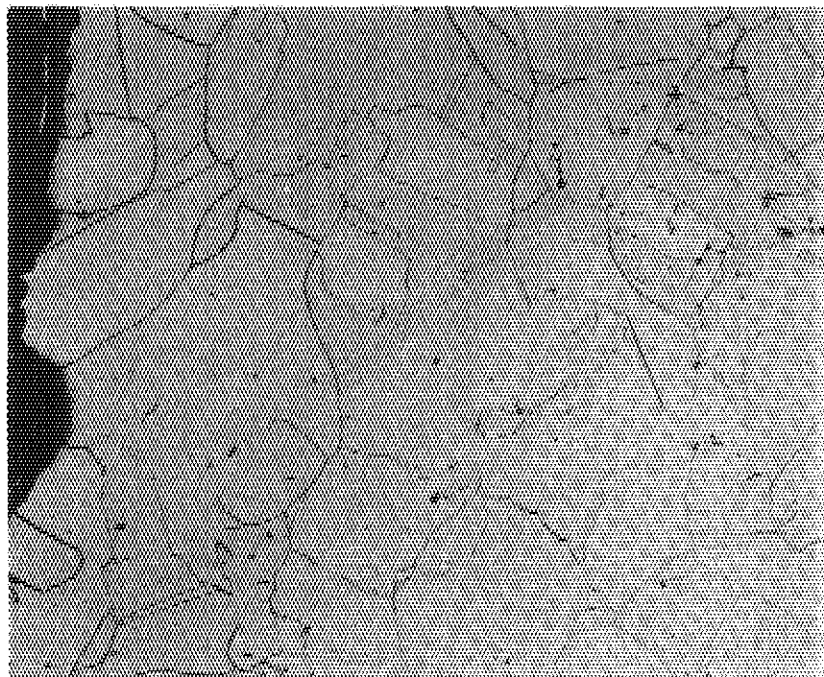


200 μm



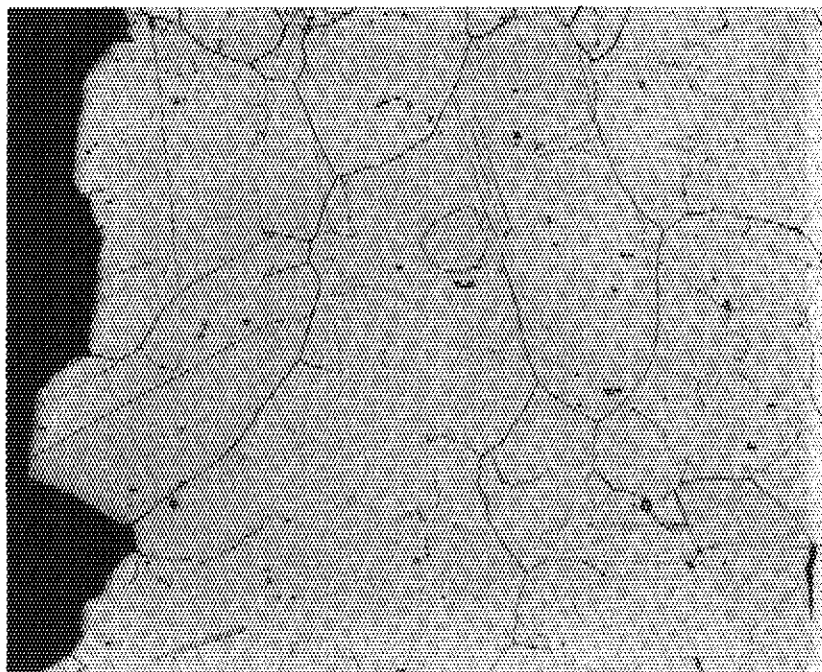
50 μm

Photo 35 材 質 ; インコイ 800 旧規格材 (Tiなし) 鍛造材
 照射前処理 ; 溶体化
 照 射 ; 980°C×320 hr , 2.1×10^{20} nvt
 照射後引張 ; 1000°C , 歪速度 0.2 mm/min , 伸び 3.03%
 エッチング条件 ; STRUERS 製汎用電解液 (A-2液)
 2.7 V , 60 sec
 組 織 ; 大きな析出物は未溶解炭化物 , 粒界に析出物が凝集し
 クラックが発生している。Ti 炭窒化物らしき析出物
 もみられる。



(a)

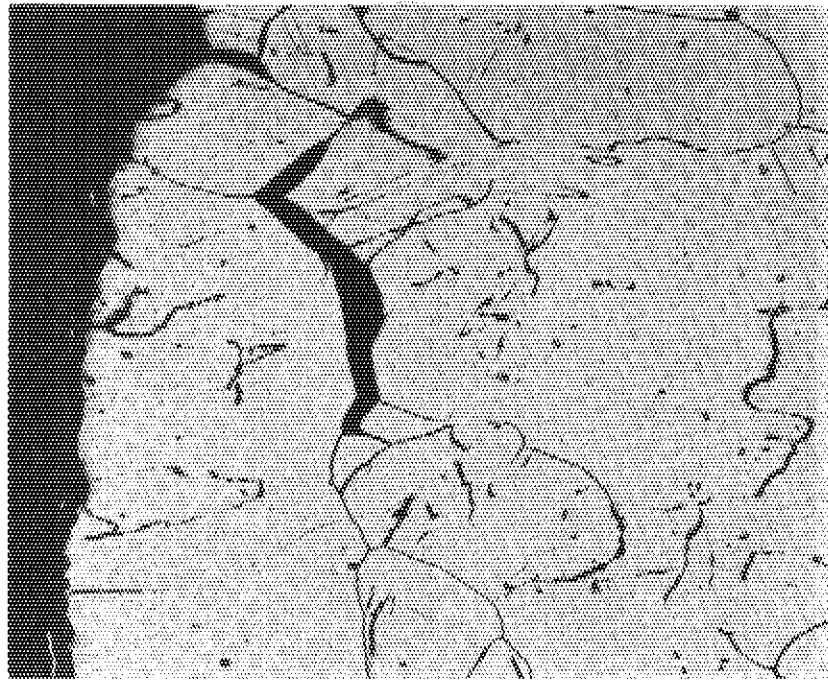
200 μm



(b)

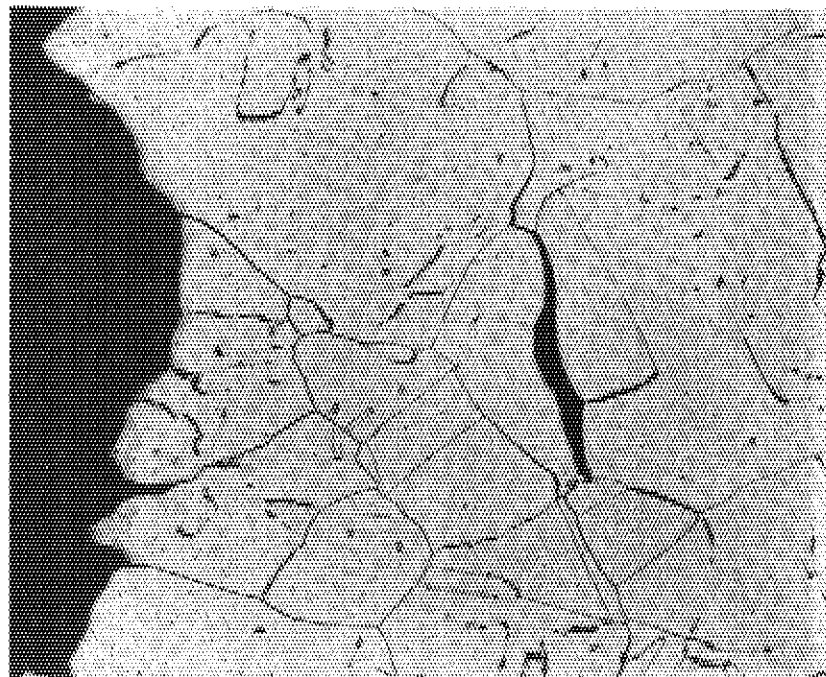
200 μm

Photo 36 材 質 ; インコイ 800 (新規格材) 圧延材
 照射前処理 ; 溶体化
 照 射 ; 50℃, 3 サイクル, 1×10^{21} nvt
 照射後引張 ; 750℃, 歪速度 0.5mm/min
 エッチング条件 ; (a) STRUERS 製汎用電解液 (A-2液)
 4.3V, 30 sec
 (b) HCl 92cc. HNO₃ 3cc. H₂SO₄ 5cc.
 溶液 60 sec 浸漬
 組 織 ; 未溶解の Ti 炭窒化物がランダムに存在する。
 引張応力による歪模様は生じていない。



(a)

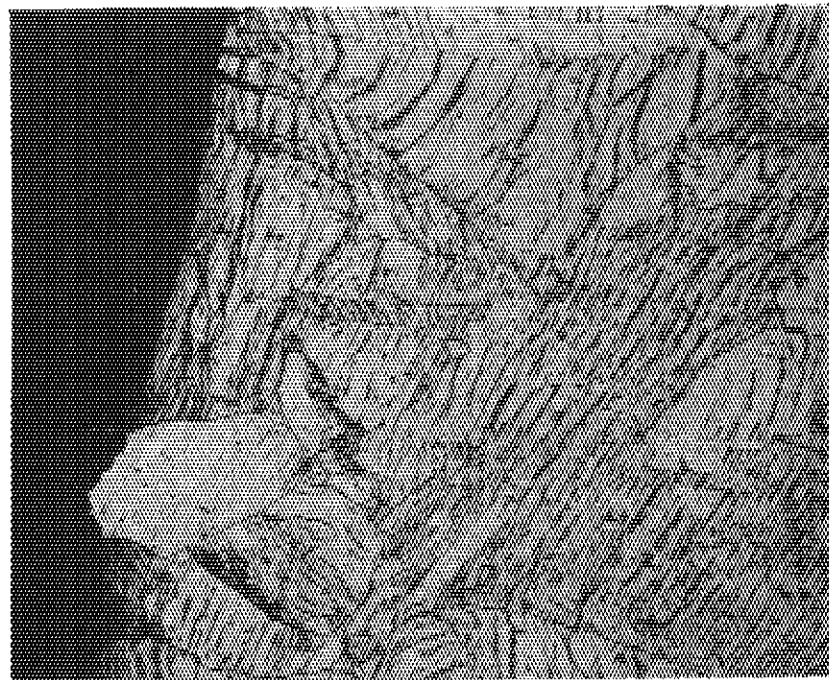
200 μm



(b)

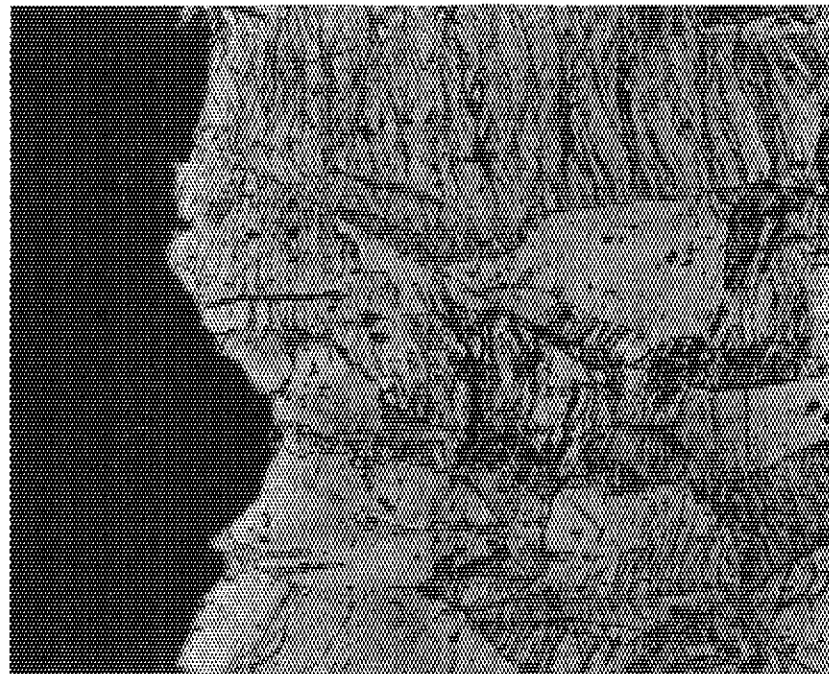
200 μm

- Photo 37 材 質 ; インコロイ 800 (新規格材) 圧延材
 照射前処理 ; 溶体化+時効 (900°C×40min)
 照 射 ; 50°C, 3 サイクル, 1×10^{22} nvt
 照射後引張 ; 750°C, 歪速度 0.5mm/min
 エッチング条件 ; (a) STRUERS 製汎用電解液 (A-2液)
 4.3V, 30 sec
 (b) HCl 92cc, HNO₃ 3cc, H₂SO₄ 5cc,
 35 sec 浸漬
 組 織 ; 未溶解の Ti 炭窒化物がランダムに析出している。
 粒界あるいは双晶境界の一部に Serration が
 みられる。



(a)

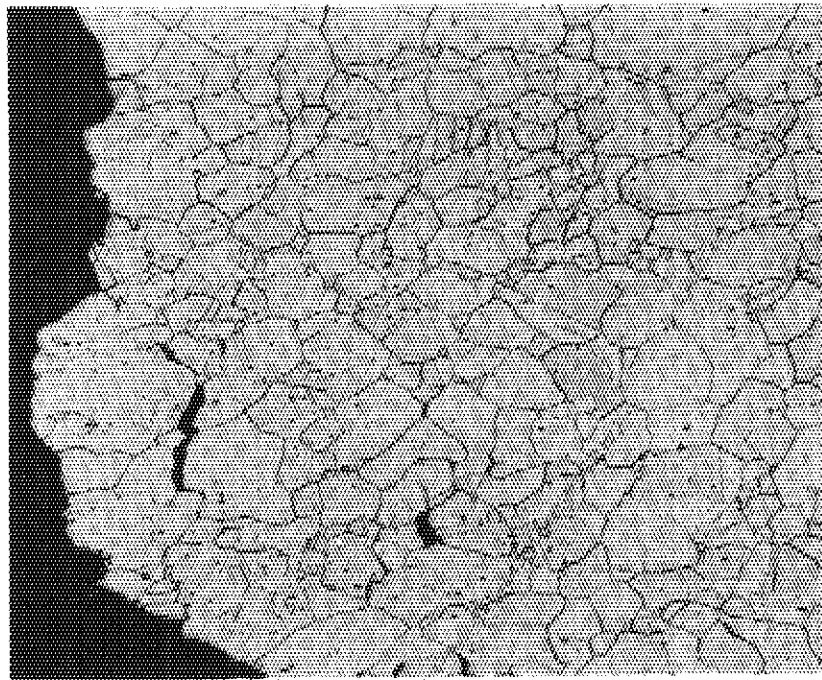
200 μm



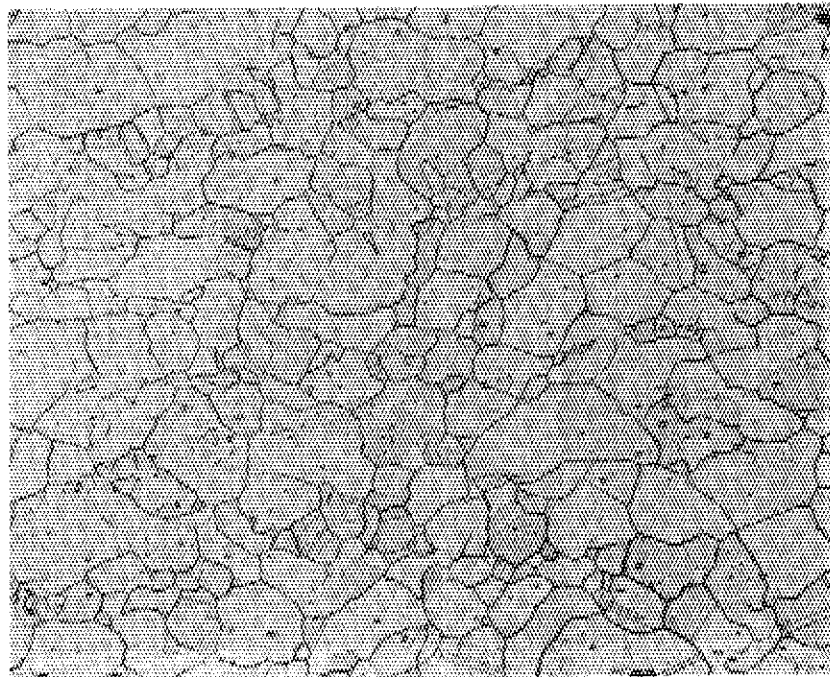
(b)

200 μm

Photo 38 材 質 ; インコロイ 800 (新規格材) 圧延材
 照射前処理 ; 加工 (50%) + 時効 (900°C × 40min)
 照 射 ; 50°C , 3 サイクル , 1×10^{21} nvt
 照射後引張 ; 750°C , 歪速度 0.5mm/min
 エッチング条件 ; (a) STRUERS 製汎用電解液 (A-2 液)
 4.3 V , 30 sec
 (b) HCl 40cc, C₂H₅OH 10cc, CrCl₂ 4g 溶液
 60 sec 浸漬
 組 織 ; 未溶解の Ti 炭窒化物がランダムに析出, 加工時の歪
 模様が残っているが局部的に再結晶を開始している。

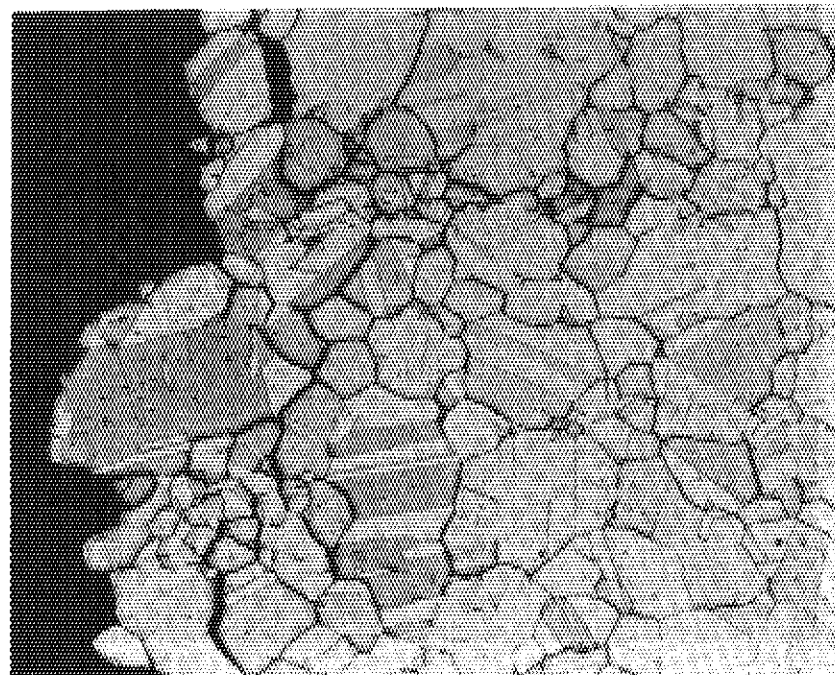


200 μm

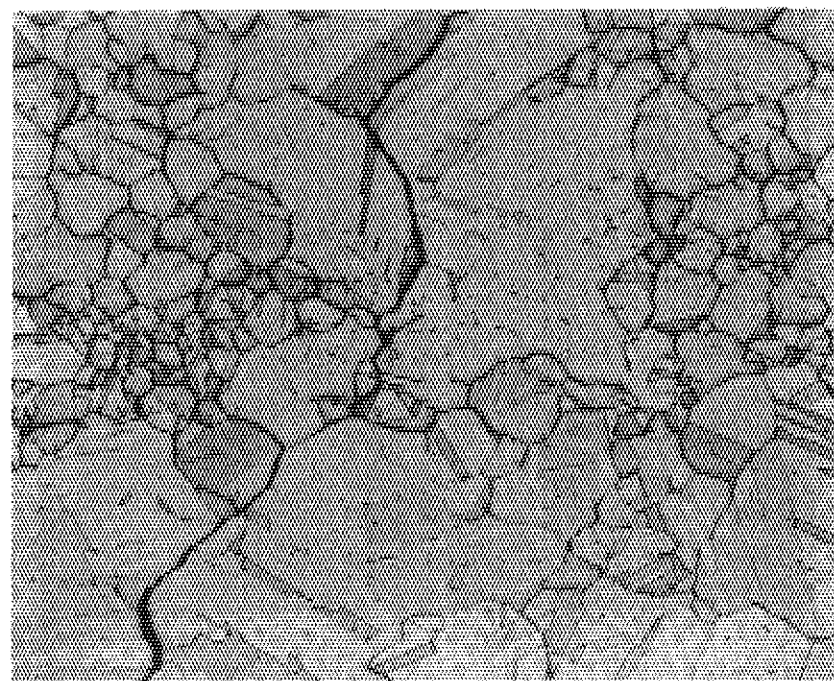


200 μm

Photo 39 材 質 ; インコロイ 807 鍛造材
照射前処理 ; 溶体化
照 射 ; $600^{\circ}\text{C} \times 1130\text{hr}$, $1.7 \times 10^{20}\text{ nvt}$
照射後引張 ; 700°C , 歪速度 0.2mm/min , 伸び 40%
エッチング条件 ; HCl 20cc , $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 5cc , CuCl_2 2g 溶液
20sec 浸漬
組 織 ; 大きな析出物は未溶解炭化物 NbC , 微細な析出物
は Ti 炭窒化物。

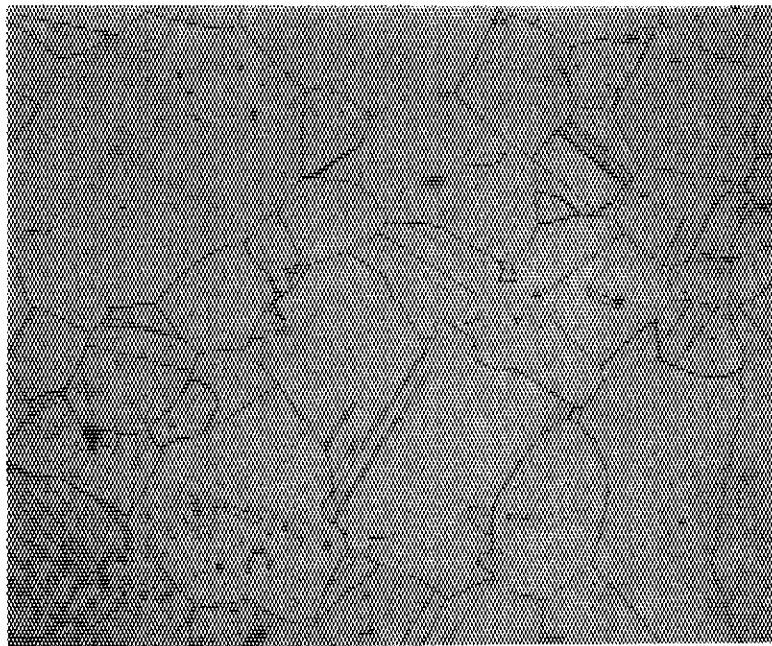


200 μm

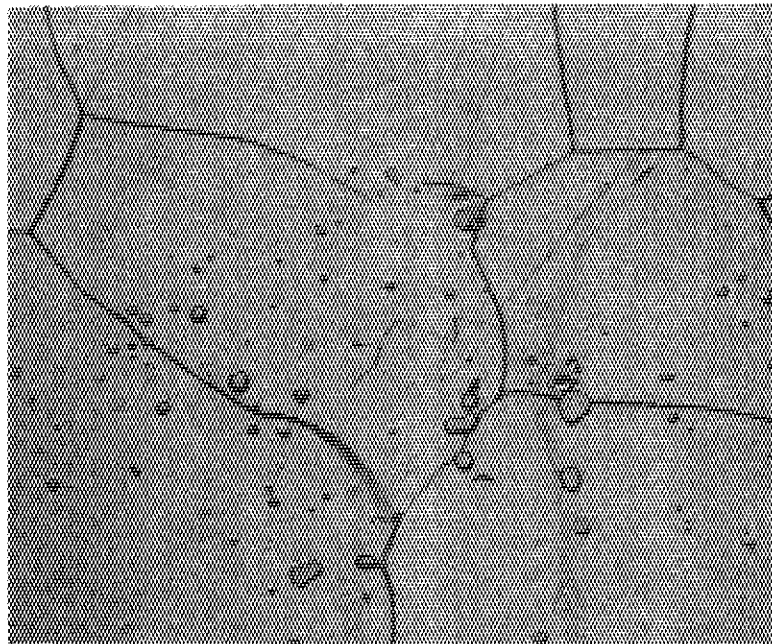


200 μm

Photo 40 材 質; インコロイ 807 鍛造材
 照射前処理; 溶体化
 照 射; 925°C×320hr, 2.1×10^{21} nvt
 照射後引張; 1000°C, 歪速度 0.2mm/min, 伸び 6.13%
 エッチング条件; HCl 20cc, C₂H₅OH 5cc, CuCl₂ 2g 溶液
 25 sec 浸漬
 組 織; 大きな析出物は未溶解のNbC。粒内の微細な析出物
 は Ti 炭窒化物。粒界析出物は少ない。



200 μm



50 μm

Photo 41 材 質；ハステロイ X 圧延材（非照射材）
熱 処 理；溶体化
エッチング条件；#600 後 A-2 液を用いて電解研磨（21V, 20sec.），電解エッチング（2.6V, 30sec）
組 織；未溶解炭化物 M_6C 以外の炭化物は完全に固溶している。

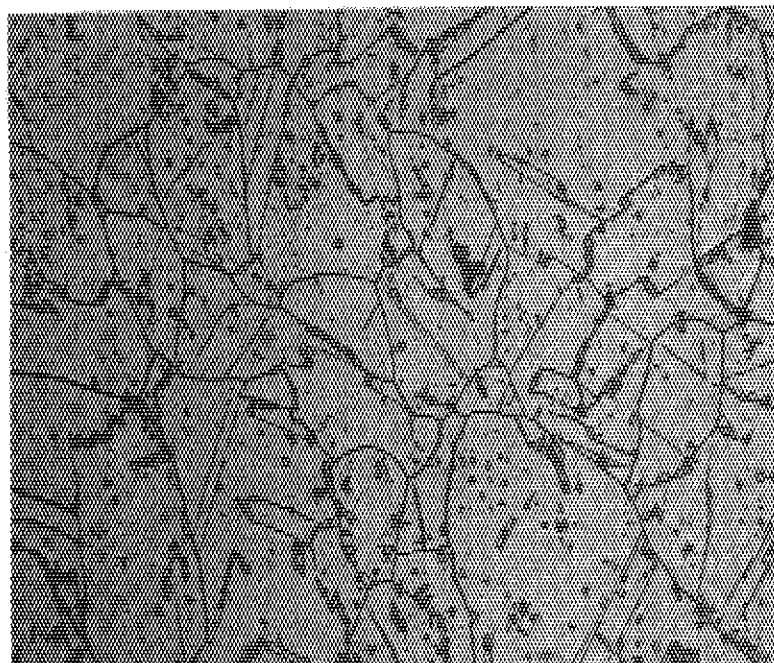
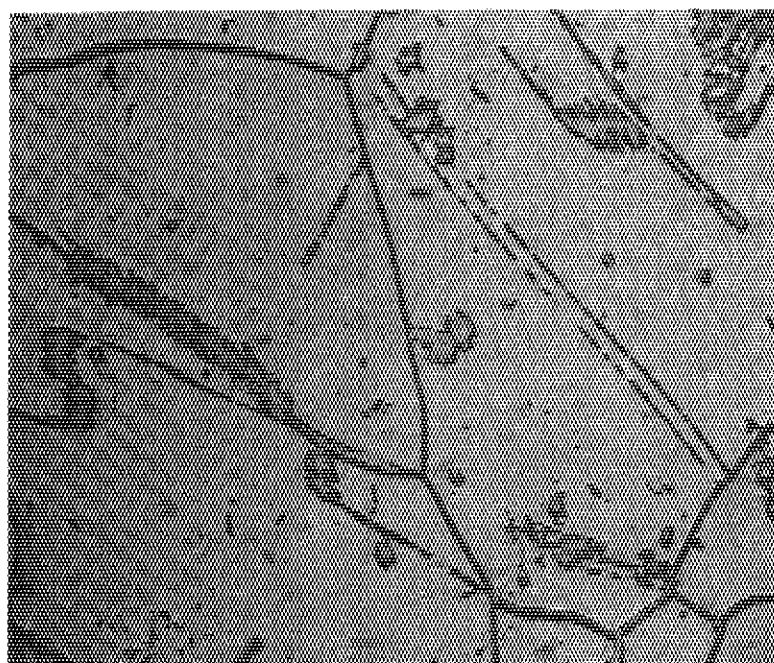
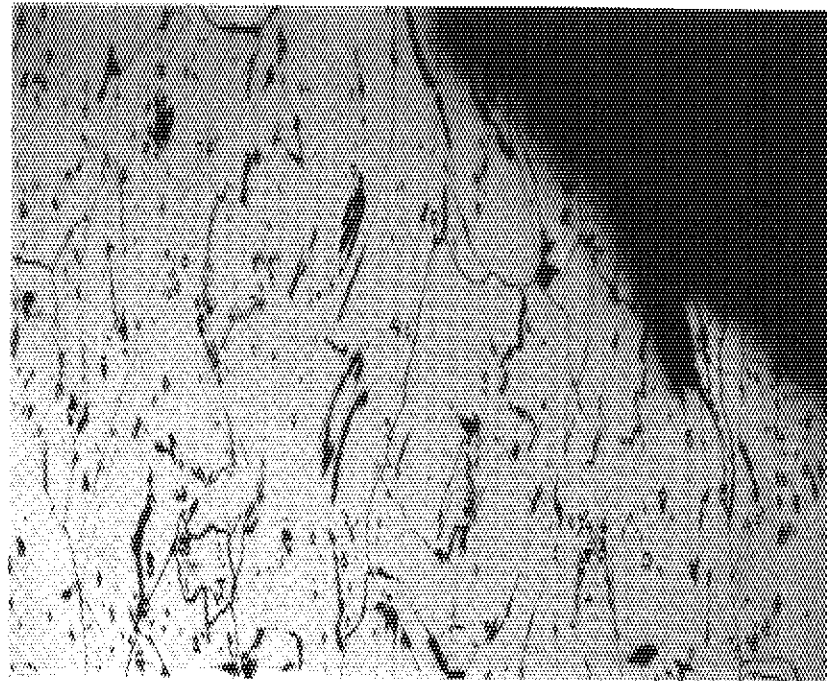
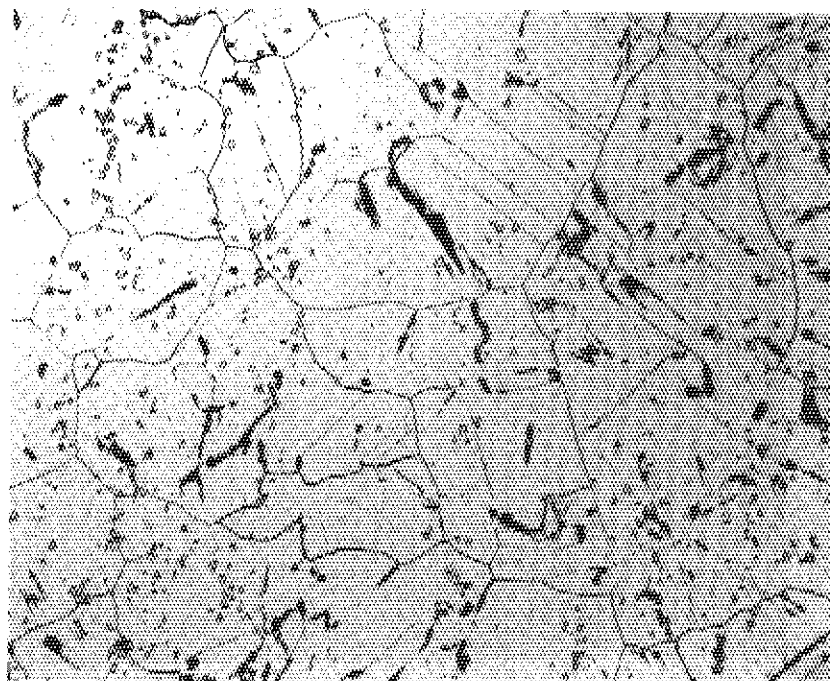
200 μm 50 μm

Photo 42 材 質 ; ハステロイ X 圧延材 (非照射材)
 熱 処 理 ; 溶体化
 引張試験 ; 800°C, 大気中, 伸び 47.3%
 エッチング条件 ; # 600 後 A-2 液を用いて電解研磨 (21V, 7 sec), 電解エッチング (2.8V, 15 sec)
 組 織 ; 破断部から 7 m/m 離れた定常変形部の組織であるが, 粒界, 双晶境界の一部に Serration が起っている。析出物は未溶解炭化物 M_6C 。

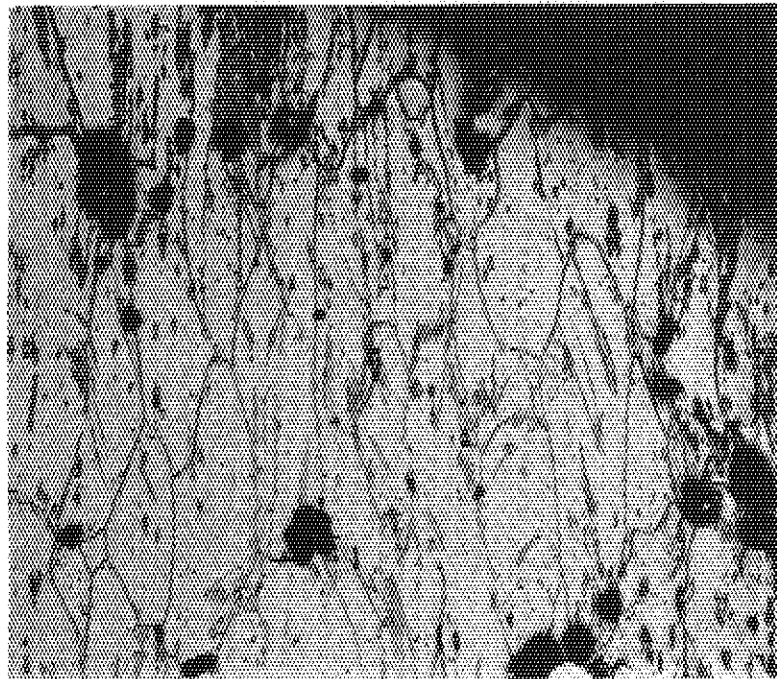


200 μm

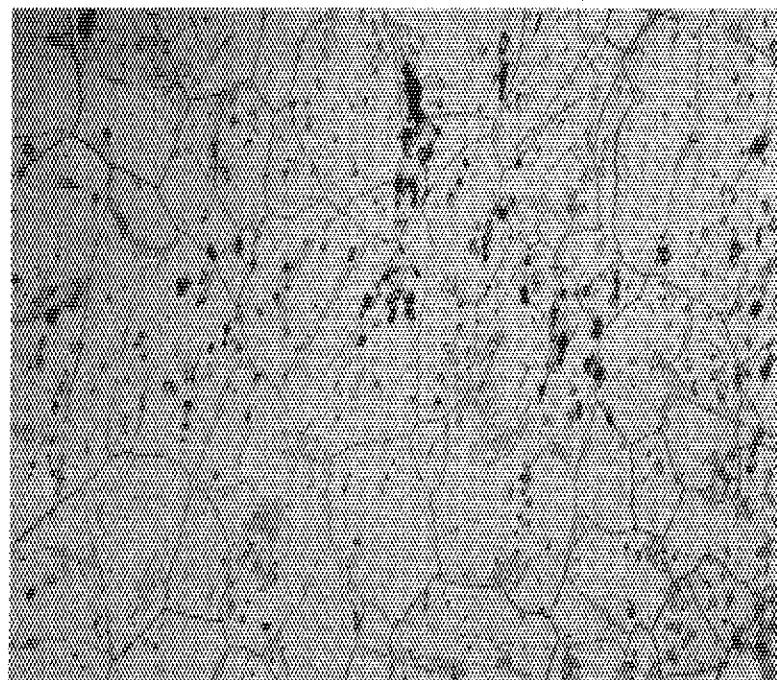


200 μm

Photo 43 材 質；ハステロイ X 圧延材（非照射材）
 熱 処 理；溶体化
 引張試験；800°C，大気中，伸び47.3%
 エッチング条件；HCl 84cc，HNO₃ 6cc，H₂SO₄ 10cc，溶液
 20sec 浸漬
 組 織；破断部近傍の結晶粒の伸びが著しく，Serration
 が多くみられる。析出物は未溶解炭化物M₆C。

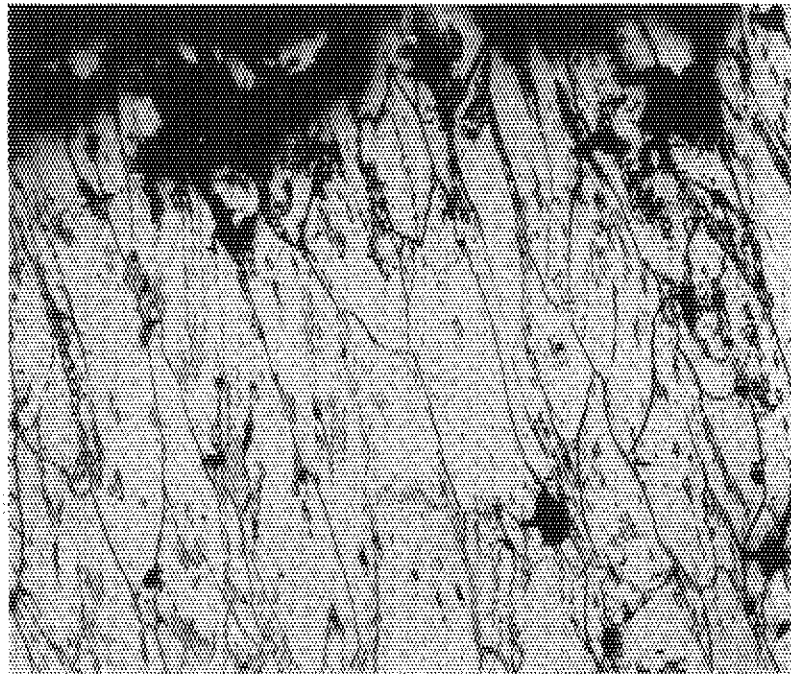


200 μm

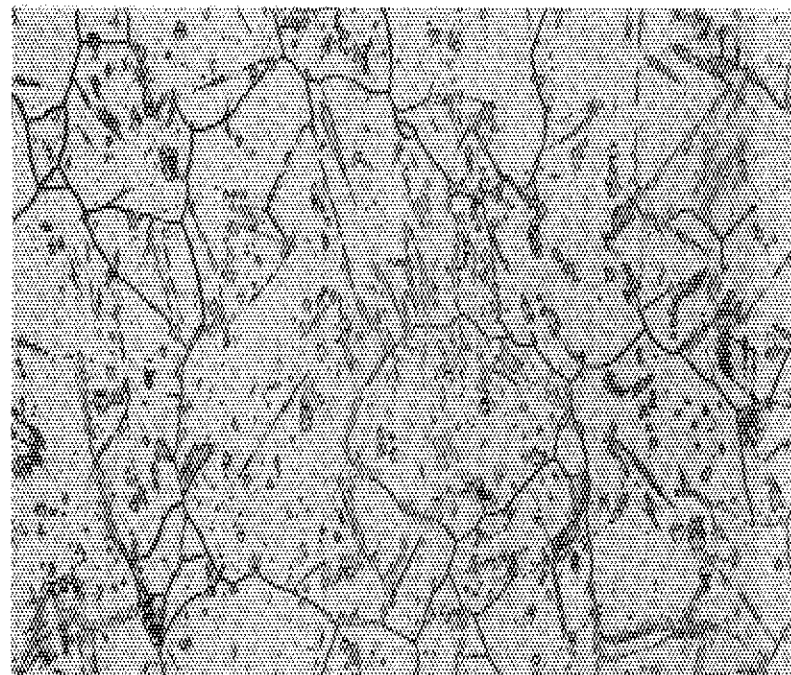


200 μm

Photo 44 材 質；ハステロイ X 圧延材（非照射材）
 熱 処 理；溶体化
 引張試験；900℃，大気中，伸び 55.5%
 エッチング条件；DP-7_{II} 後 A-2 液を用いて電解研磨（21V，7 sec）
 電解エッチング（2.8V，8 sec）
 組 織；破断部近傍のポイドはクラックが電解研磨で掘られたもの。定常変形部はエッチング不足，析出物は未溶解炭化物M₆C。

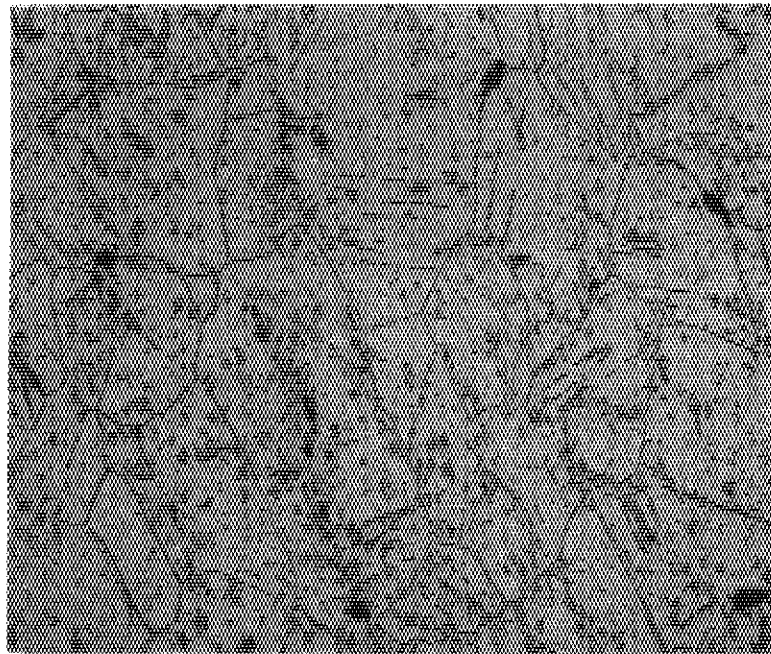


200 μm

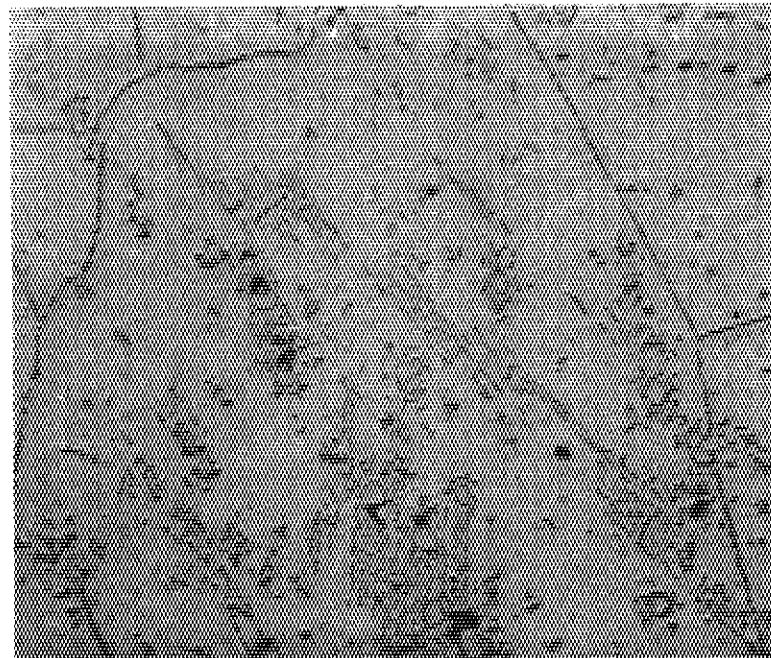


200 μm

Photo 45 材 質；ハステロイ X 圧延材（非照射材）
 熱 処 理；溶体化
 引張試験；900°C，大気中，伸び 55.5%
 エッチング条件；Hcl 84 cc, HNO₃ 6 cc, H₂SO₄ 10 cc, 溶液
 13sec 浸漬
 組 織；破断部の形状やマイクロクラックが原形を保っていて
 マトリックス全面が均一にエッチングされている。析
 出物は未溶解炭化物M₆C。

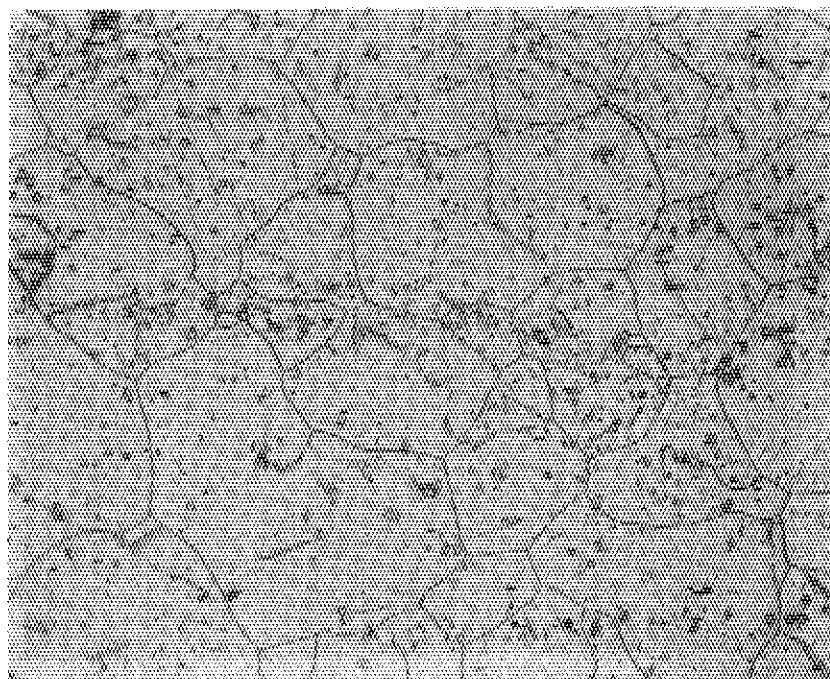


200 μm

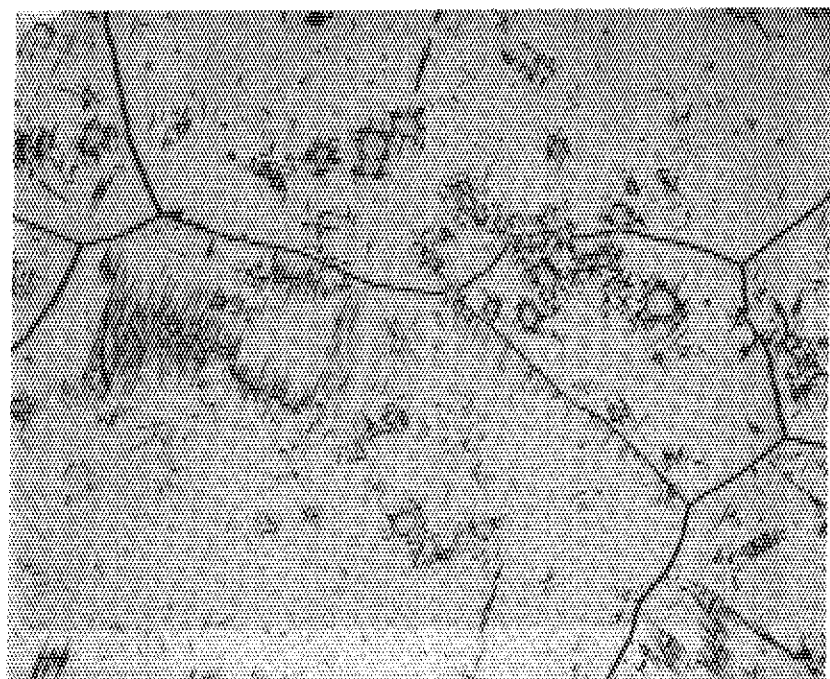


50 μm

Photo 46 材 質；ハステロイ X 圧延材（非照射材）
 熱 処 理；溶体化
 引張試験；1000℃，大気中，伸び 49.3%
 エッチング条件；#600後A-2液を用いて電解研磨（21V，6sec）
 電解エッチング（2.6V，6sec）
 組 織；大きな析出物は未溶解のM₆C，粒内の板状析出物
 および粒界の粒状析出物は引張試験中に生じたもの。



200 μm



50 μm

Photo 47 材 質；ハステロイ X 圧延材（非照射材）
 熱 処 理；溶体化
 引張試験；1000°C，大気中，伸び 49.3%
 エッチング条件；Hcl 76cc，HNO₃ 9cc，H₂SO₄ 15cc 溶液
 35sec 浸漬
 組 織；大きい析出物は未溶解のM₂₃C₆，粒内の板状析出物と粒界の粒状析出物は引張試験中に生じたもの。電解法にくらべて粒界が鮮明である。

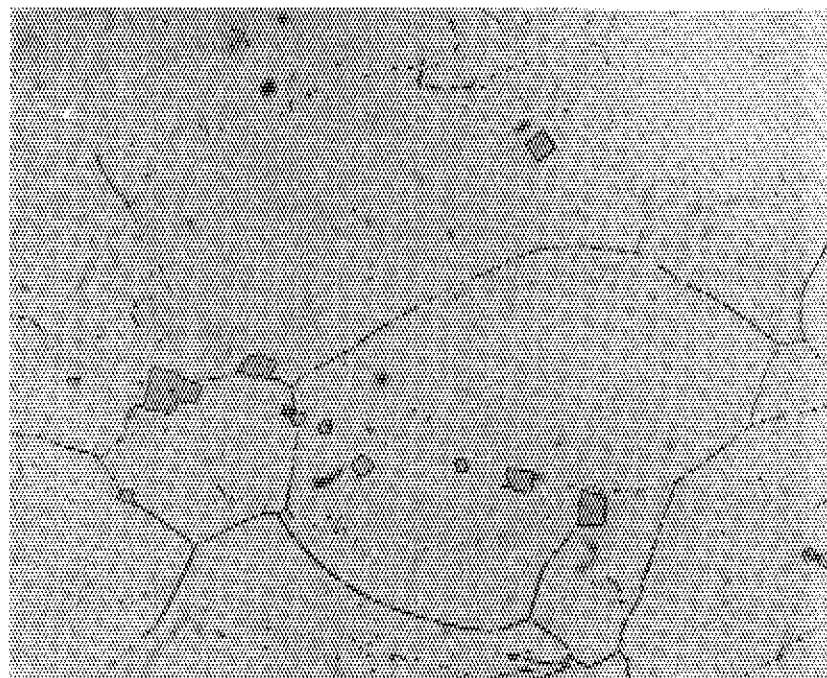
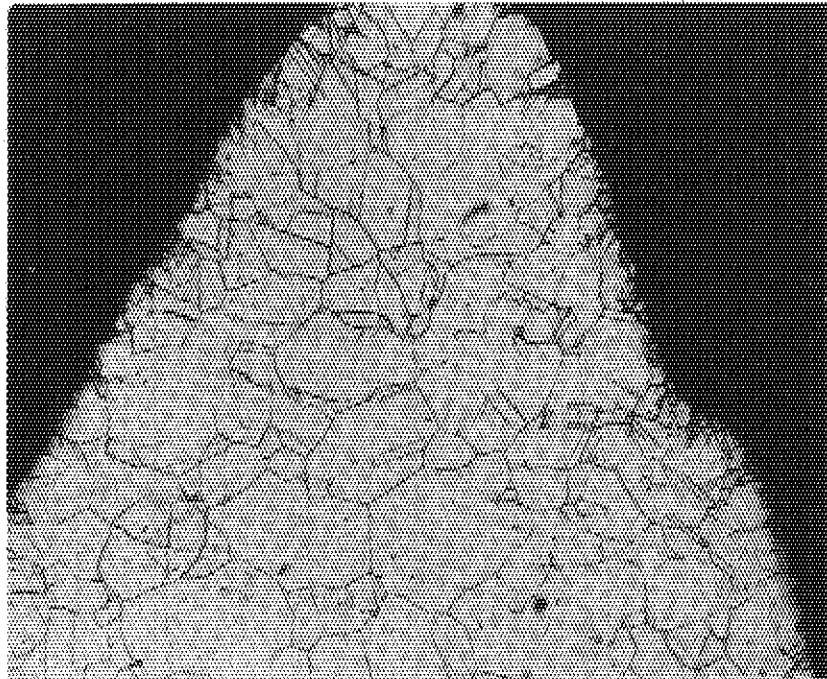
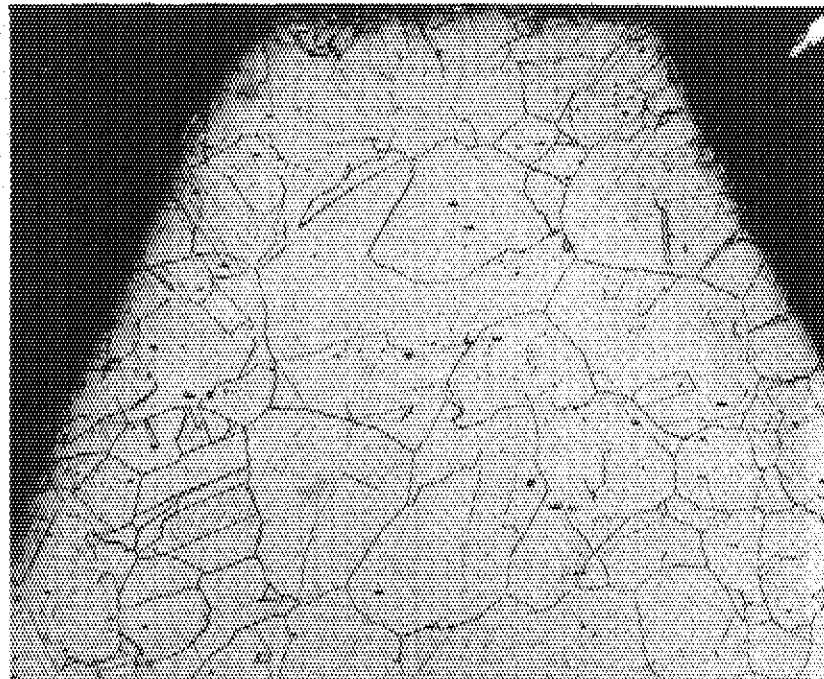
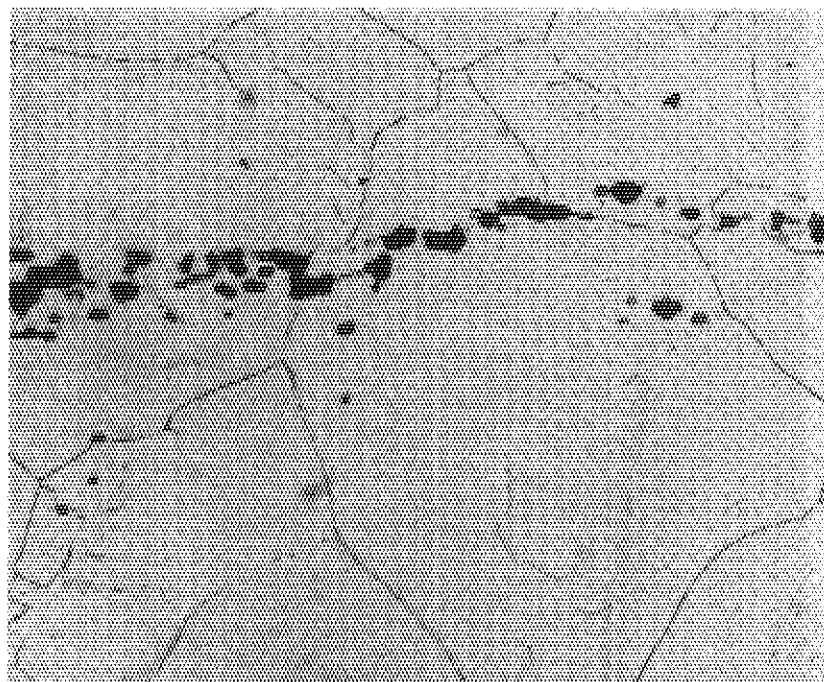


Photo 48 材 質 ; インコイ 800 新規格材 (非照射材)
熱 処 理 ; 溶体化
引 張 試 験 ; 100°C
エッチング条件 ; STRUERS 製汎用電解液 (A-2液)
3.7 V , 30 sec
組 織 ; 丸棒試験片のネジ山部である。未溶解のTi炭窒化物と粒界, 粒内に微細な析出物が存在する。

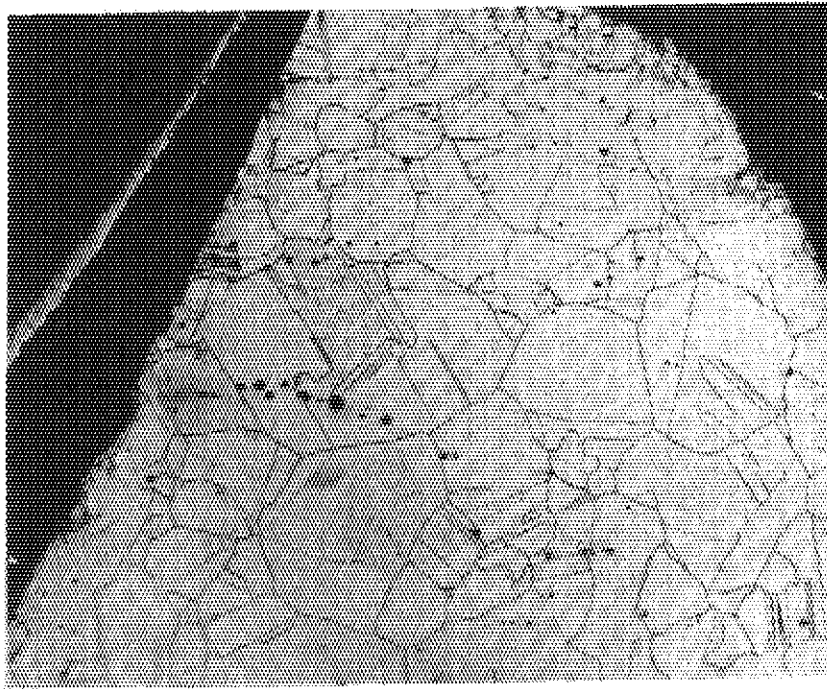


200 μm



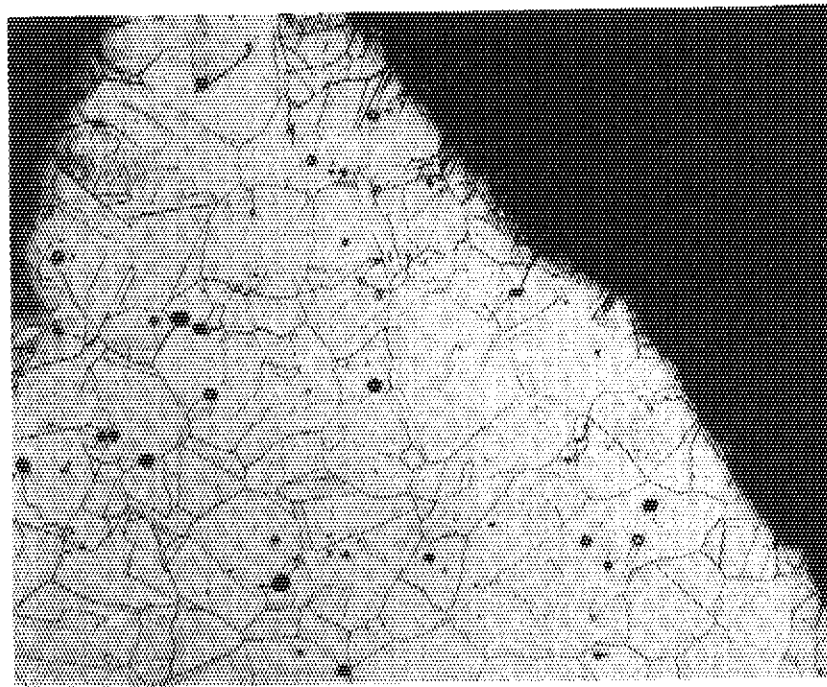
50 μm

Photo 49 材 質；インコロイ 800 旧規格材（非照射材）
熱 処 理；溶体化
引 張 試 験；1000℃
エッチング条件；STRUERS製汎用電解液（A-2液）
3.7V, 60sec
組 織；Ti炭窒化物とは異なる析出物が分散している。粒界
粒内に引張試験中に生じた微細な析出物が存在する。



(a)

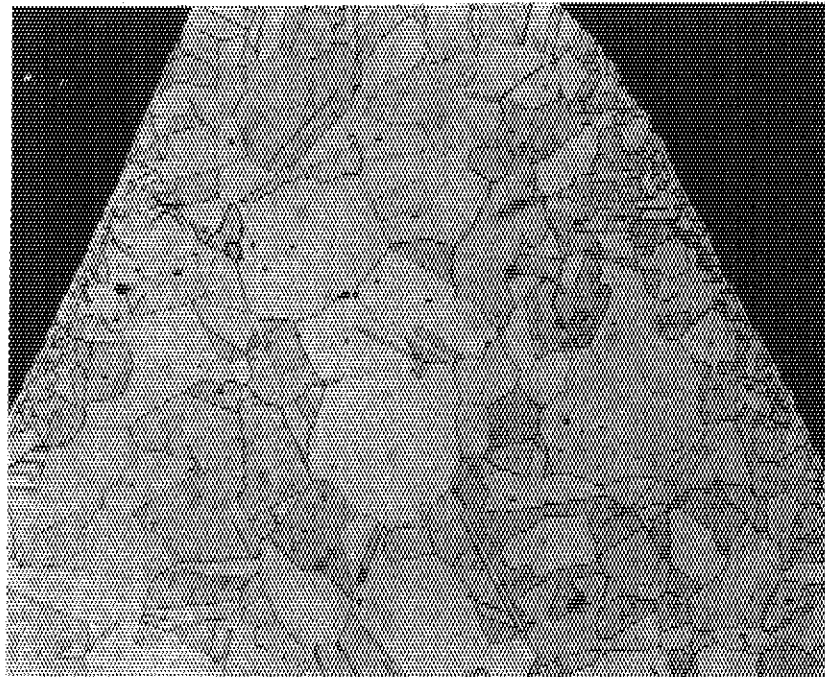
200 μm



(b)

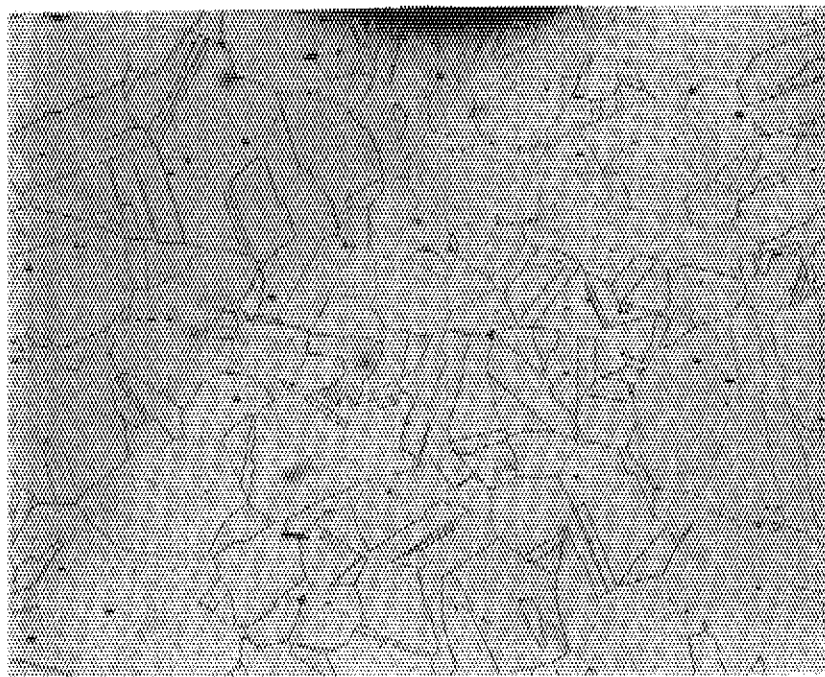
200 μm

Photo 50 材 質；インコイ800 (a)旧規格材 (b)新規格材 (非照射材)
 熱 処 理；溶体化
 引 張 試 験；1000°C
 エッチング条件；DP-7n 後A-2液を用いて電解研磨，エッチング
 (a) 研磨 (21V, 5sec), エッチング (3.5V, 30sec)
 (b) 研磨 (17V, 4sec), エッチング (3.7V, 30sec)
 組 織；いずれの材料も電解研磨すると析出物が侵されてピットになる。研磨電圧が21Vのときピットは最小であった。



(a)

200 μm



(b)

200 μm

Photo 51 材 質 ; インコロイ 800 旧規格材 (非照射材)
 熱 処 理 ; 溶体化
 引張 試 験 ; 1000°C
 エッチング条件 ; (a) HCl 40cc, C₂H₅OH 10cc, CuCl₂ 4g 溶液
 45sec 浸漬
 (b) HCl 92cc, HNO₃ 3cc, H₂SO₄ 5cc 溶液
 30sec 浸漬
 組 織 ; 未溶解の析出物として極めて少量の Ti 炭窒化物が存在
 する。多くは別の析出物。(b) 液を用いれば電解と同等
 な組織が得られる。

正誤表 (JAERI-M6355)

ページ	誤	正		
P5 上から11行目	} 未溶解	未溶解		
P5 下から11行目				
P51				
P8	Total Elongation	Total Elongation, %		
P9	Cn	Cu		
P12	HClO ₄	HClO ₄		
P12, 13, 16, 18, 21 22, 32, 38, 39, 40 41, 42, 43, 44, 45 46, 49, 50, 51, 52 56, 58, 60, 64	} HCl	HCl		
P17			Photo # 1, 3	Photo 1, 3
P18			M ₆ C'	M ₆ C'
P52 53			CuCl ₂	CuCl ₂
P57 63			DP-7 _u	DP-7 _μ