



機械技術者のための ナイトロテック処理

新 井 國 夫*

石 井 彌**

*株式会社 アイゼン

〒432 静岡県浜松市小沢渡町20

電話 053(447)2523

FAX 053(448)5230

**ルーカス株式会社

〒101 東京都千代田区岩本町1-7-5

電話 03(3863)5181

FAX 03(3866)7745

機械技術者のための ナイトロテック処理

(株)アイゼン 新井 國夫*・ルーカス(株) 石井 彌**

自動車から、一般産業機械に亘って用いられる多くの鉄鋼製部品には、引張り強度、剛性、耐摩耗性、耐熱性、耐食性などのさまざまな特性が求められている。

これらの特性を得るための熱処理方法での対応としては従来、調質（焼入れ、焼戻し）、高周波や浸炭、または浸炭窒化による焼入れ、焼戻しで

の表面や部分硬化処理、ガスまたはソルトによる軟窒化処理、イオン窒化処理など各種の熱処理方法が採用されてきた。しかしながら、これらの処理は表面または全体の硬化など、耐食性を除く改善を利用しているものである。

ここでは、比較的新しい耐食性を含めた複合効果を持つ熱処理、「ナイトロテック処理」について、その概要紹介と、実際の応用に際し、特徴を活かすための解説をし、機械系の設計技術者をはじめとする利用者への参考に供したい。

ナイトロテック処理 (NITROTEC PROCESS) の概要

この処理技術は、英国にある大手の自動車、航空宇宙用機器メーカーであるルーカス社 (Lucas) が開発したもので、日本にはヨーロッパ、アメリカに次いで1985年に導入され、数年前から、自動車関連部品をはじめとする各産業界での部品に応用され始めている。

ナイトロテックとは、NITRiding (窒化)・Ox-idising (酸化)・proTECtion (防食保護) の3語からの新造語で、登録されている。このネーミングからも判るように、窒化を基本として発展した技術であり、図1で示すようにガス軟窒化処理を

*あらい くにお：代表取締役専務
所在地：〒432 静岡県浜松市小沢渡町20
電話 053(447)2523

**いしい ひさし：ナイトロテック部長 技術士
所在地：〒101 東京都千代田区岩本町1-7-5
電話 03(3863)5181

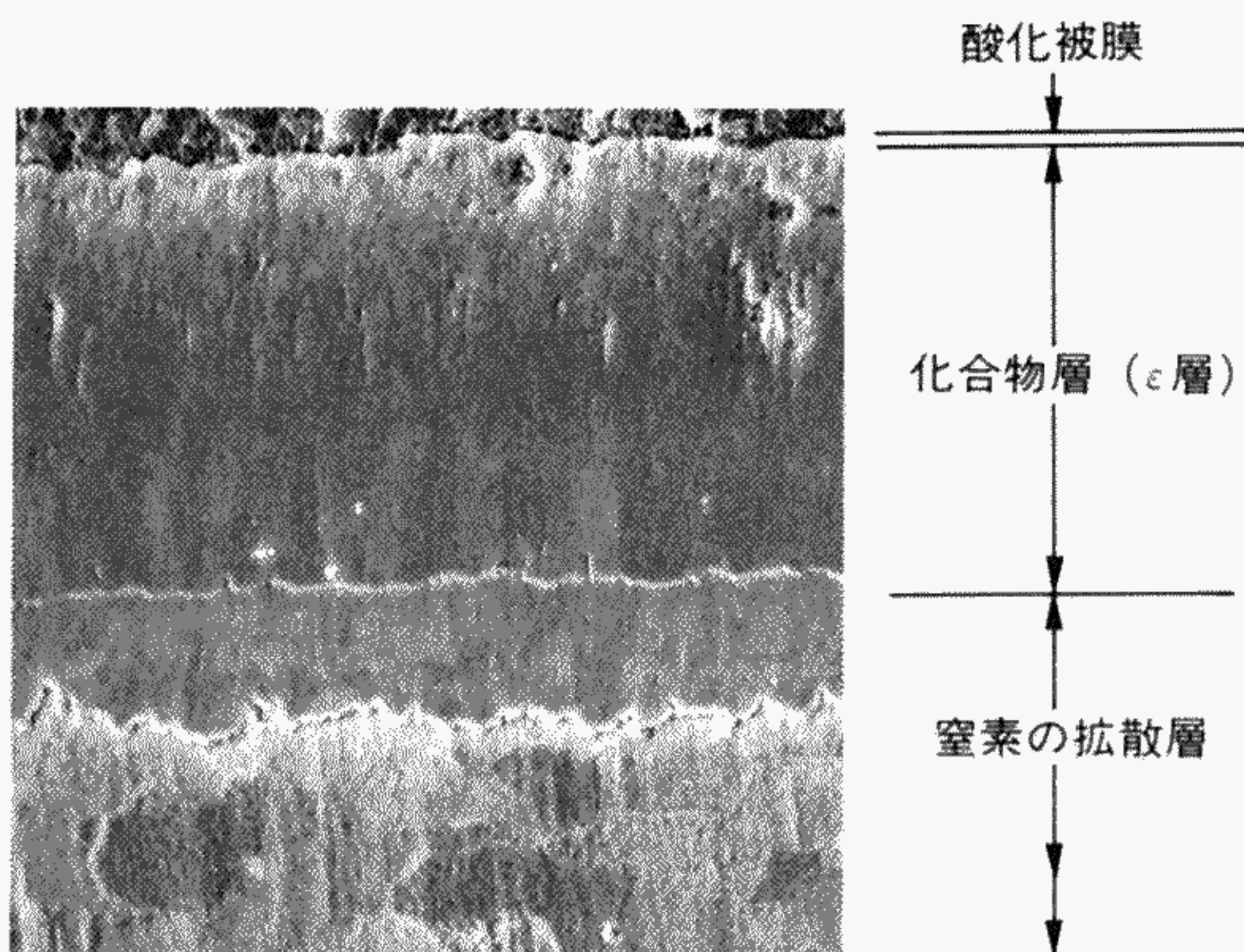


図1 表面付近の断面層電子顕微鏡写真 (倍率1,640)

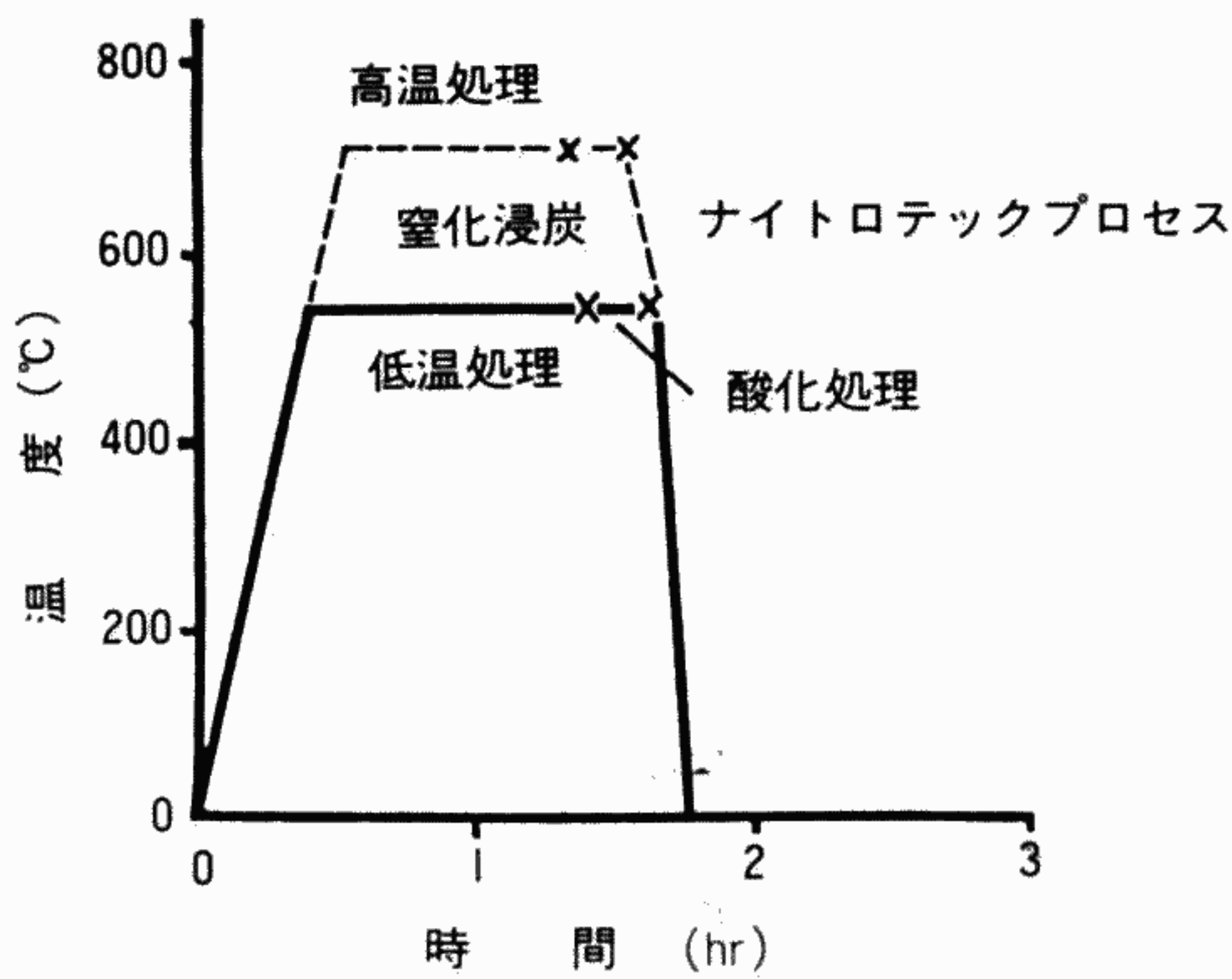


図2 基本的処理ヒートサイクル

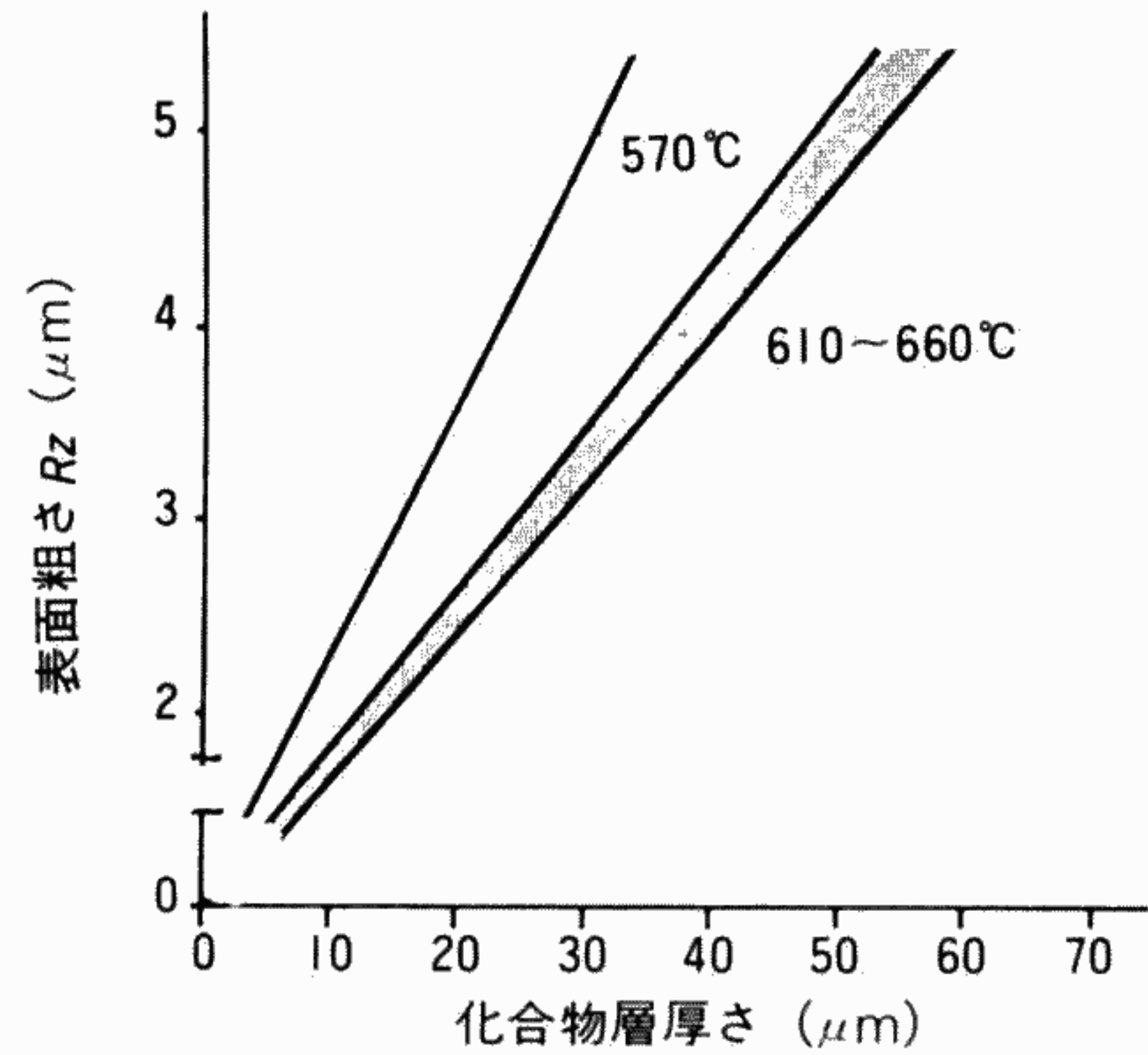


図3 処理温度別化合物層の厚さと表面粗さ

した表面に Fe_3O_4 （四三酸化鉄）の被膜を形成することにより，表面硬化と耐食性を持つという複合効果が得られる新しい熱処理法である。

処理方法の概要

従来のソルトやガス雰囲気炉で行われてきた軟窒化処理法は， $550^{\circ}C \sim 590^{\circ}C$ 位の温度範囲で0.5時間～数時間保持して処理し， $5\mu m \sim 15\mu m$ の化合物層（ Fe_3N ）を形成してきた。この場合，化合物層を厚くしようとする時，処理時間を著しく延長しなければならず，処理コストの上昇を招き不都合な場合がある。

「ナイトロテック処理」では， $RX + NH_3$ または $N_2 + NH_3 + CO_2$ などのガス雰囲気炉において行うが，その処理温度範囲は，図2のように $550^{\circ}C$

～ $700^{\circ}C$ と，やや高温域で処理することにより，鉄鋼中における窒素の拡散速度が高まることで，ホーラス層の形成量を抑えつつ，比較的短時間で $25\mu m \sim 40\mu m$ の化合物層を形成できる。また，実用例として， $70\mu m$ の化合物層を形成している部品もある。図3では同一厚さの化合物層を得るのに処理温度が低く，時間が長くかかると化合物層の表面粗さは高温処理に比べ，粗くなる傾向を示している。

また，図4で示すように，化合物層に続いて芯部側には，窒素の拡散層（ Fe_4N ）が $0.7 \sim 1.0mm$ の深さまでできる。「ナイトロテック処理」では，ガス軟窒化工程に続いて処理品の最表面に Fe_3O_4 （四三酸化鉄）の被膜を形成させる目的の酸化処理工程がある。

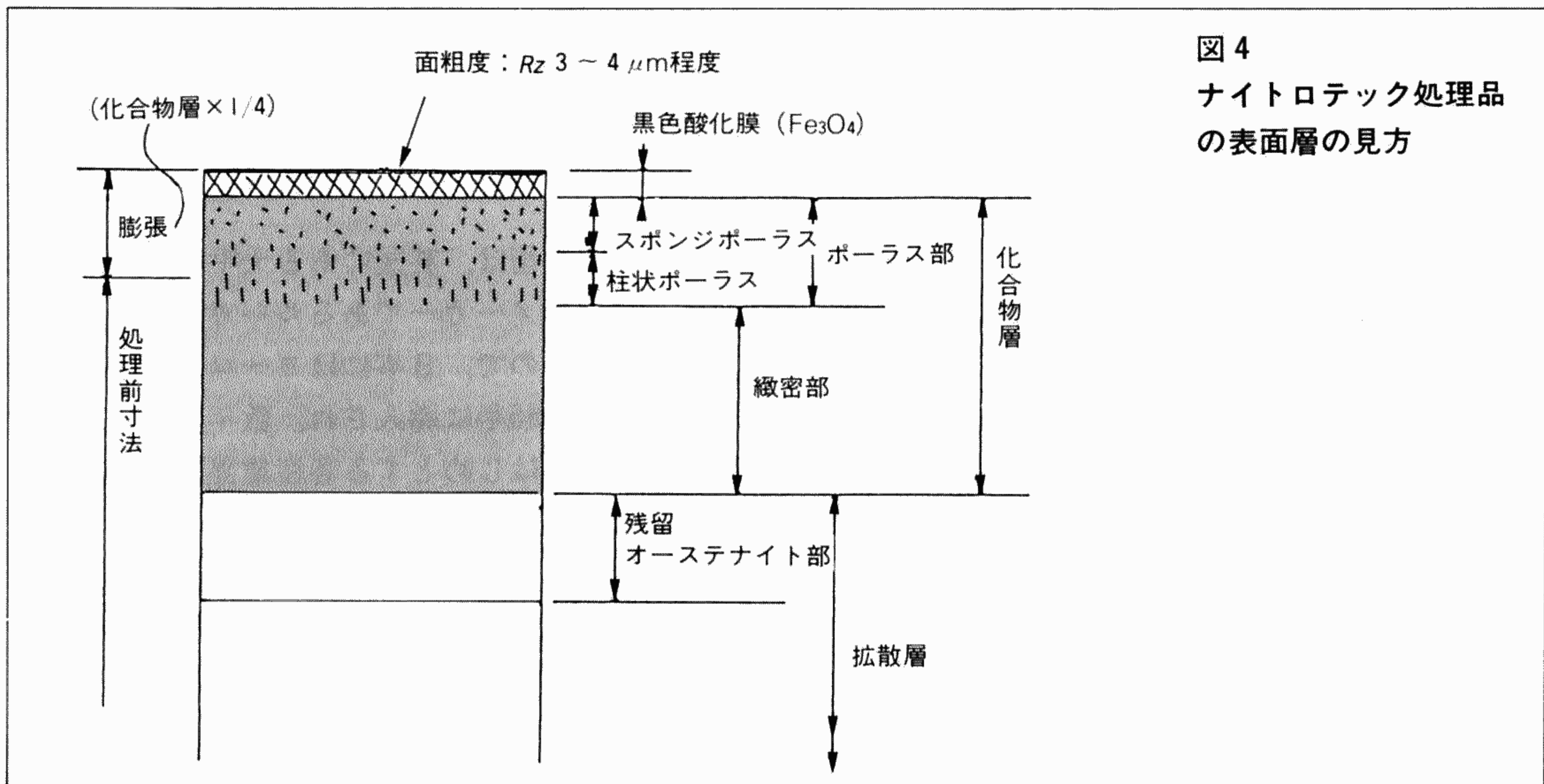


図4 ナイトロテック処理品の表面層の見方

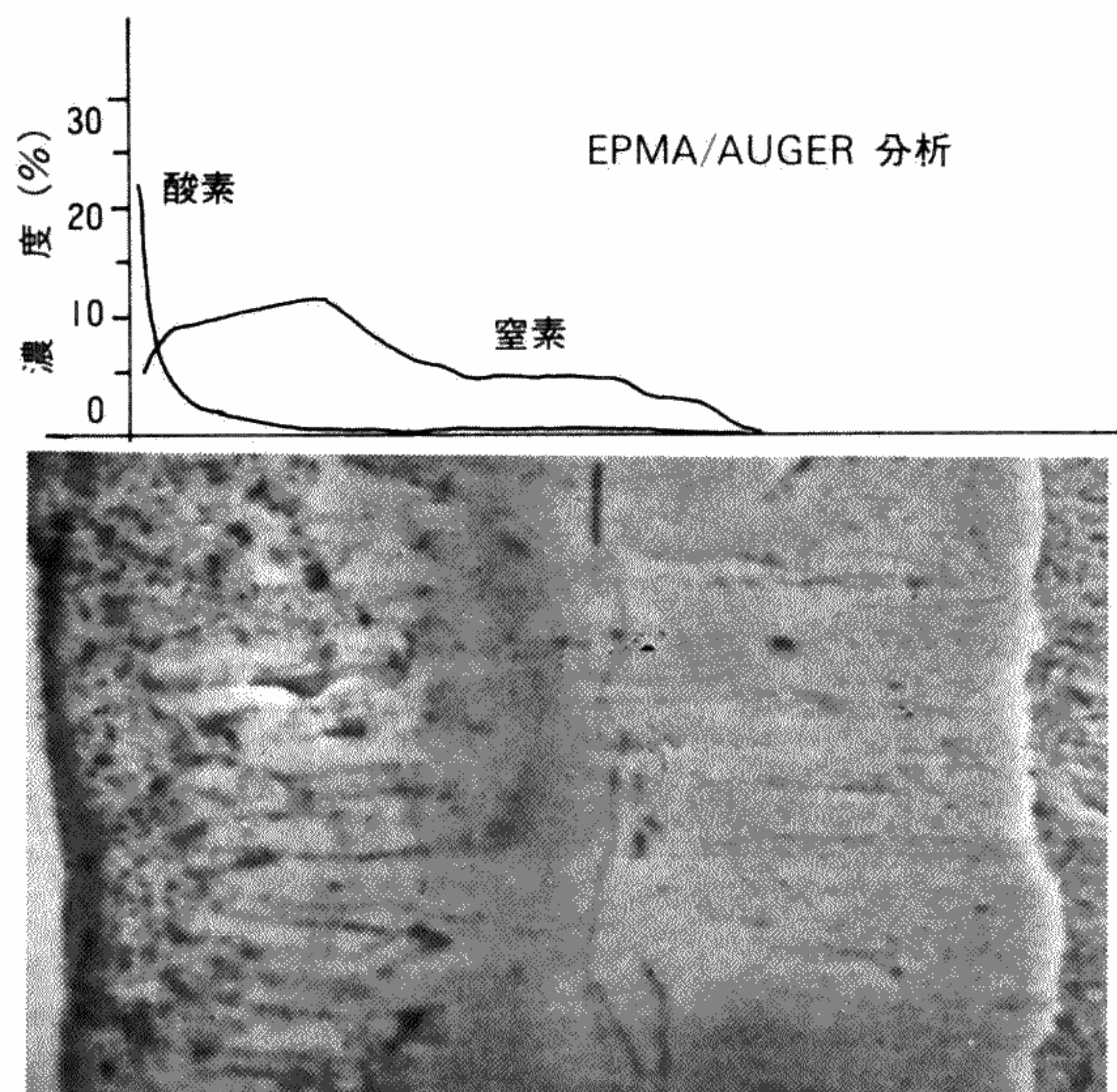


図5 処理品表面付近の窒素・酸素分析

この酸化工程は軟窒化処理直後に、高温短時間で行われ、その後、油と水の混合液（エマルジョン液）中で急冷される。このことにより、窒素の拡散層の硬度アップが得られるのであるが、この処理工程の組み方は、ナイトロテック処理の独自のものであり、日本においても特許を取得している。

図5、6で示すように、酸化処理に得られる表面の酸化膜厚は、 $0.5\sim 1.5\mu\text{m}$ 程度を狙いとしているが、EPMAの分析結果からも判るように、

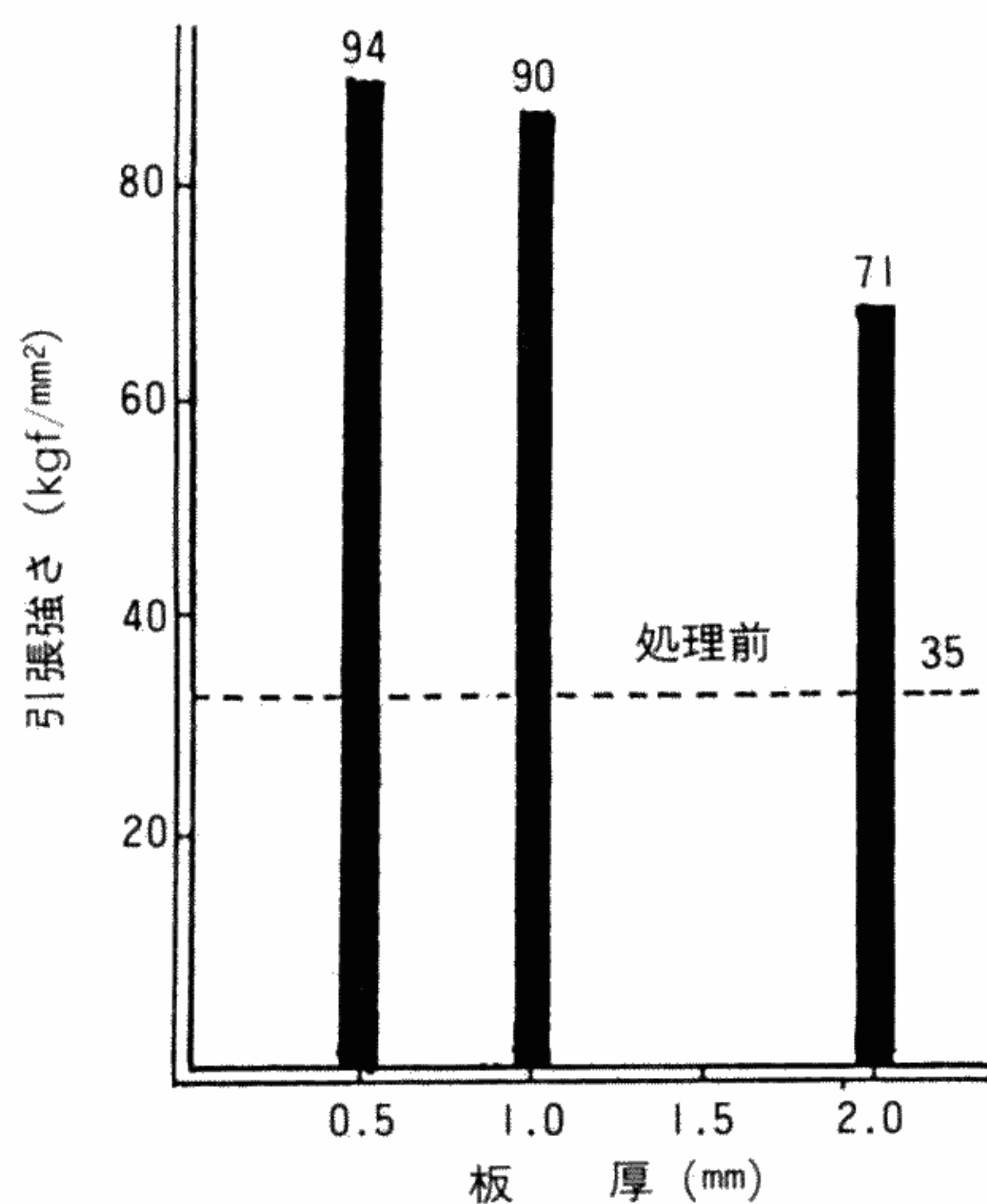


図7 板厚別引張強度向上例

(1時間処理による強度向上例 SPCE相当材)

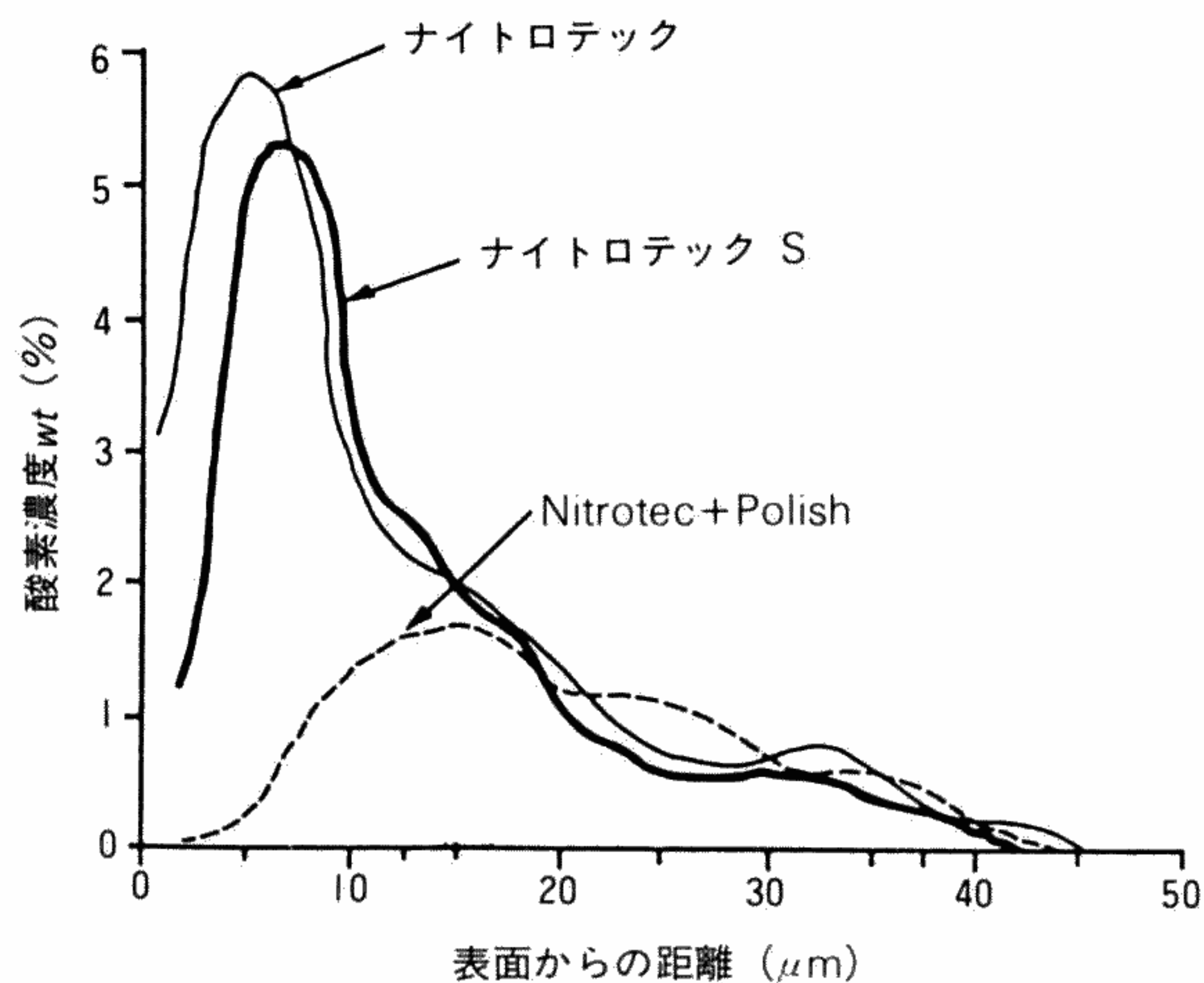


図6 ナイトロテック処理別化合物層中の酸素分布

ポーラス層にも酸化が浸透している。

ナイトロテック処理の特長と活用例

1. 素材強度の向上

ナイトロテック処理では、高温域でのガス軟窒化に続き表面の酸化処理後エマルジョン液にて急冷するので図7～9に示すように化合物層とそれに続く窒素の拡散層の硬度上昇から素材の引張り強度（耐力）向上になり、薄板材の場合は非常に大きな引張り強度、剛性が得られる。また、クラ

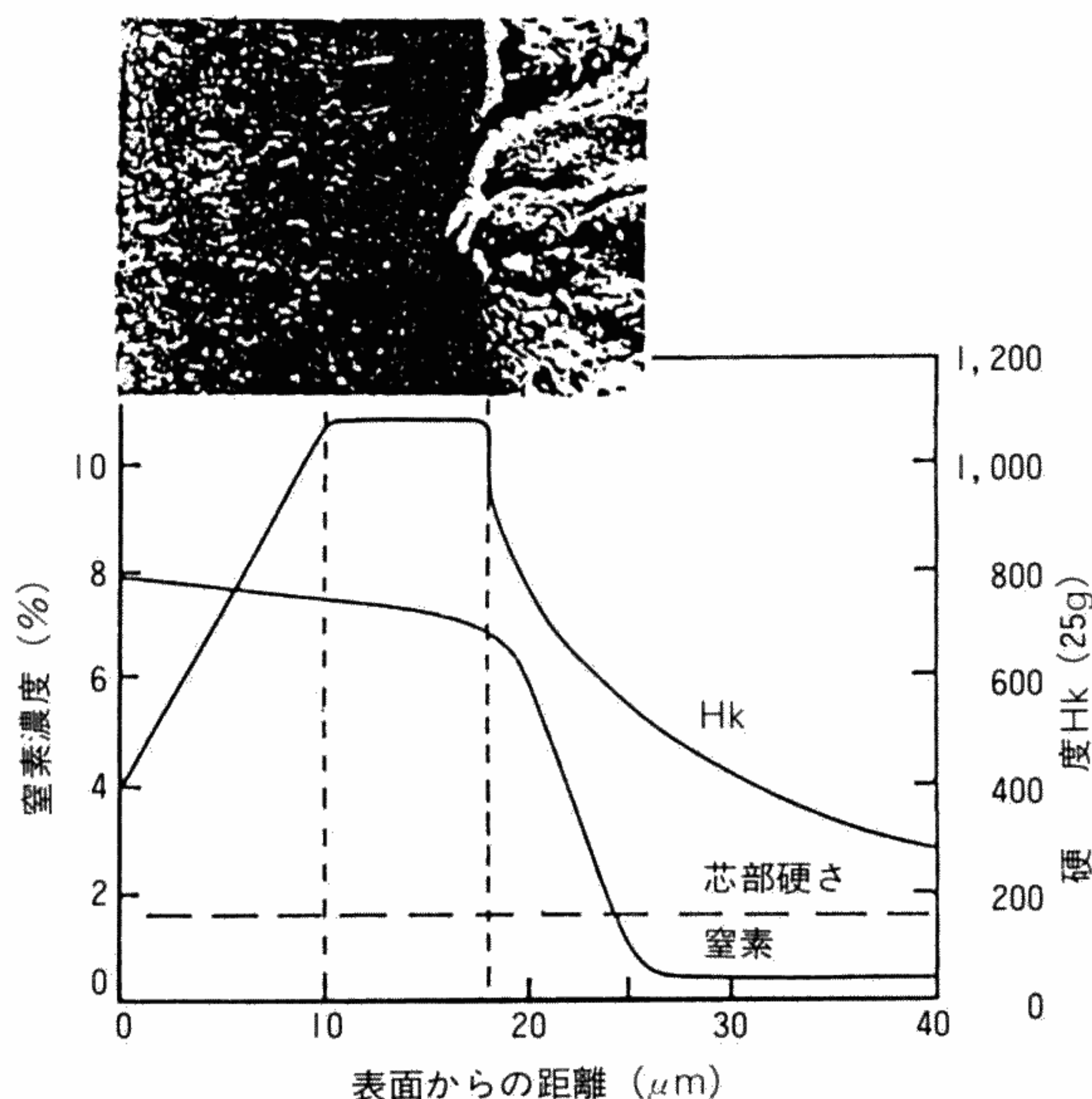
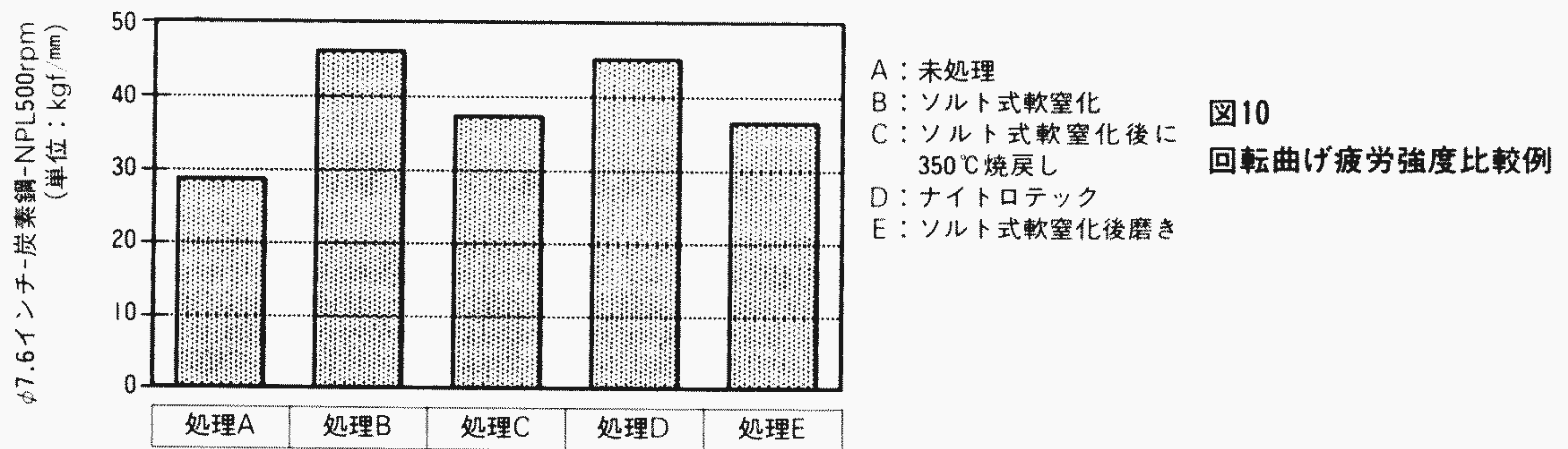
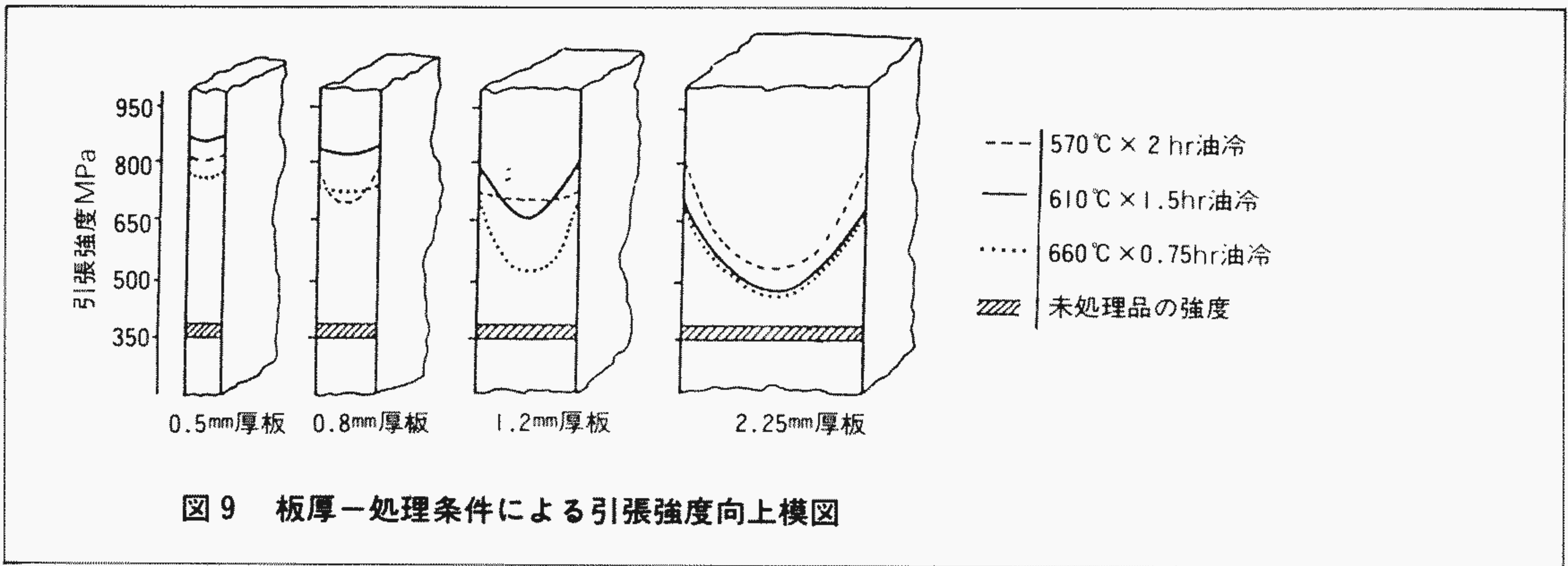
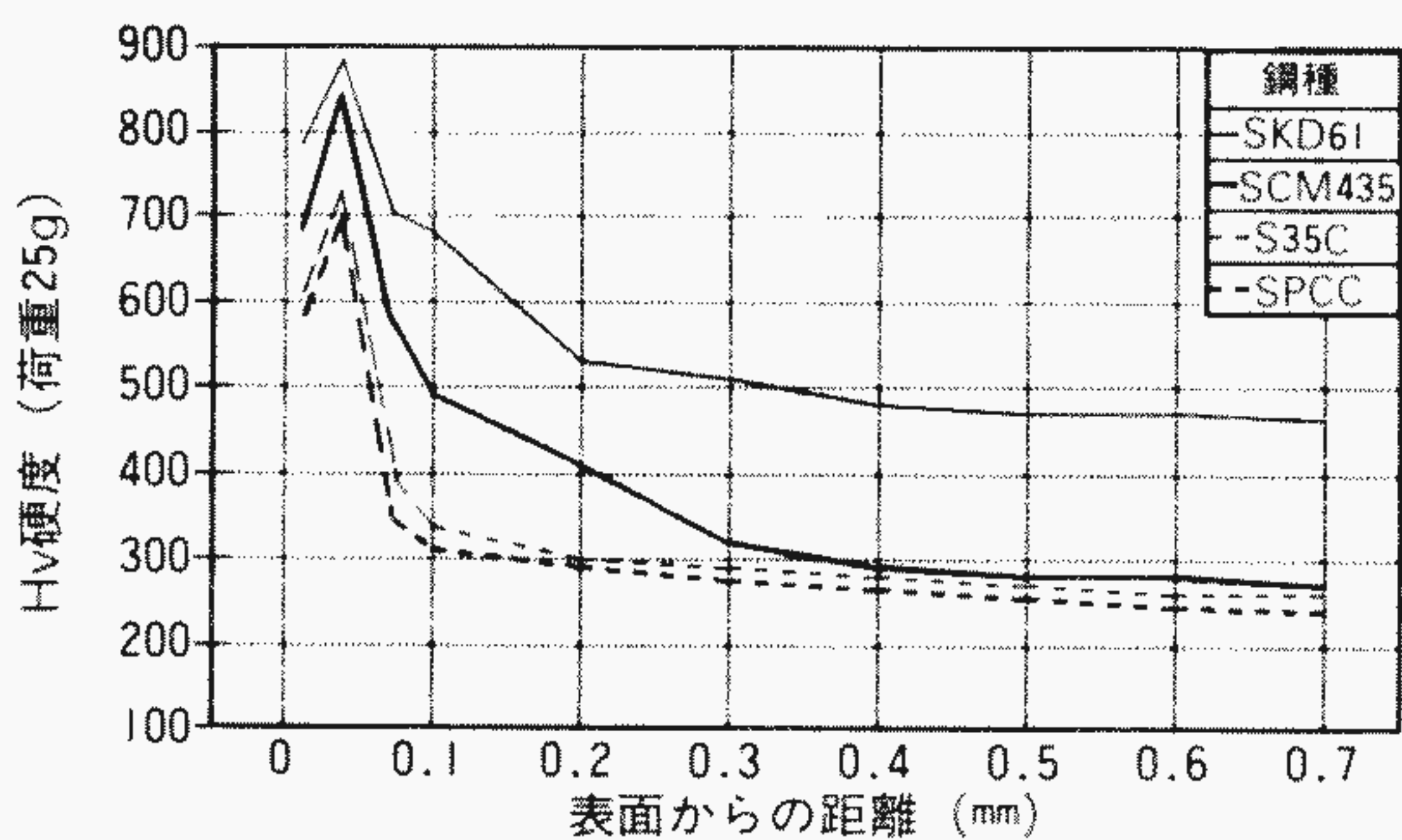


図8 化合物層における窒素濃度と硬度分布



ンクシャフトのような応力集中が問題となる肉厚の部品では、繰返し荷重に対する疲労強度の向上が著しい。図10に回転曲げ疲労強度の比較を示すが、耐疲労性を向上させる目的での同様な表面硬化処理を行っても、その品物が使用期間途中で錆が発生すると急激に疲労強度が低下してしまい、品物の信頼性に問題が残る。その点ナイトロテック処理の持つ特徴である耐食性を付加しておくことは、耐疲労強度の信頼性に大いに役立つと考える。ナイトロテックを含め、軟室化による疲労強度は、ソルト、ガスなどの処理方式によらず、専ら窒素の拡散層の厚さに比例的に向上するとの共



通見解がある。この点ナイトロテックは、各種の軟室化中で現在のところ、もっとも厚い拡散層を得やすい方法であり、用途開発が期待される。

2. 表面硬度の上昇

ナイトロテック処理によって得られる表面付近の硬度上昇は、最表面にできる化合物層(ε層)が著しく高く、Hv700~900となる。その直下の拡散層はε層に比べると低いが、窒素濃度に比例して高く、0.7~1.0mm位で芯部の硬度まで下がる。

化合物層は450°C位までは硬度を失わない特長があるが、拡散層については、図11で示すように、素材に含まれるCr・Mo・Al・Ti・W・Vなど合金元素の有無・比率により得られる硬度上昇や焼戻し(再加熱)による硬度低下の程度に差がある。

普通炭素鋼(S35Cなど)や軟鋼板(SPCCなど)では、拡散層で得られる硬度は芯部の硬度よりHv100~200高い程度で芯部に向かっての硬度低下も早い。さらに250°C以上に焼戻しすると、ほとんど芯部の硬度まで低下してしまう。ただし、化合物層(ε層)直下にある残留オーステナイト層は、焼戻しによりベイナイト組織に変化するため、硬度はHv500~600程度まで上昇する。

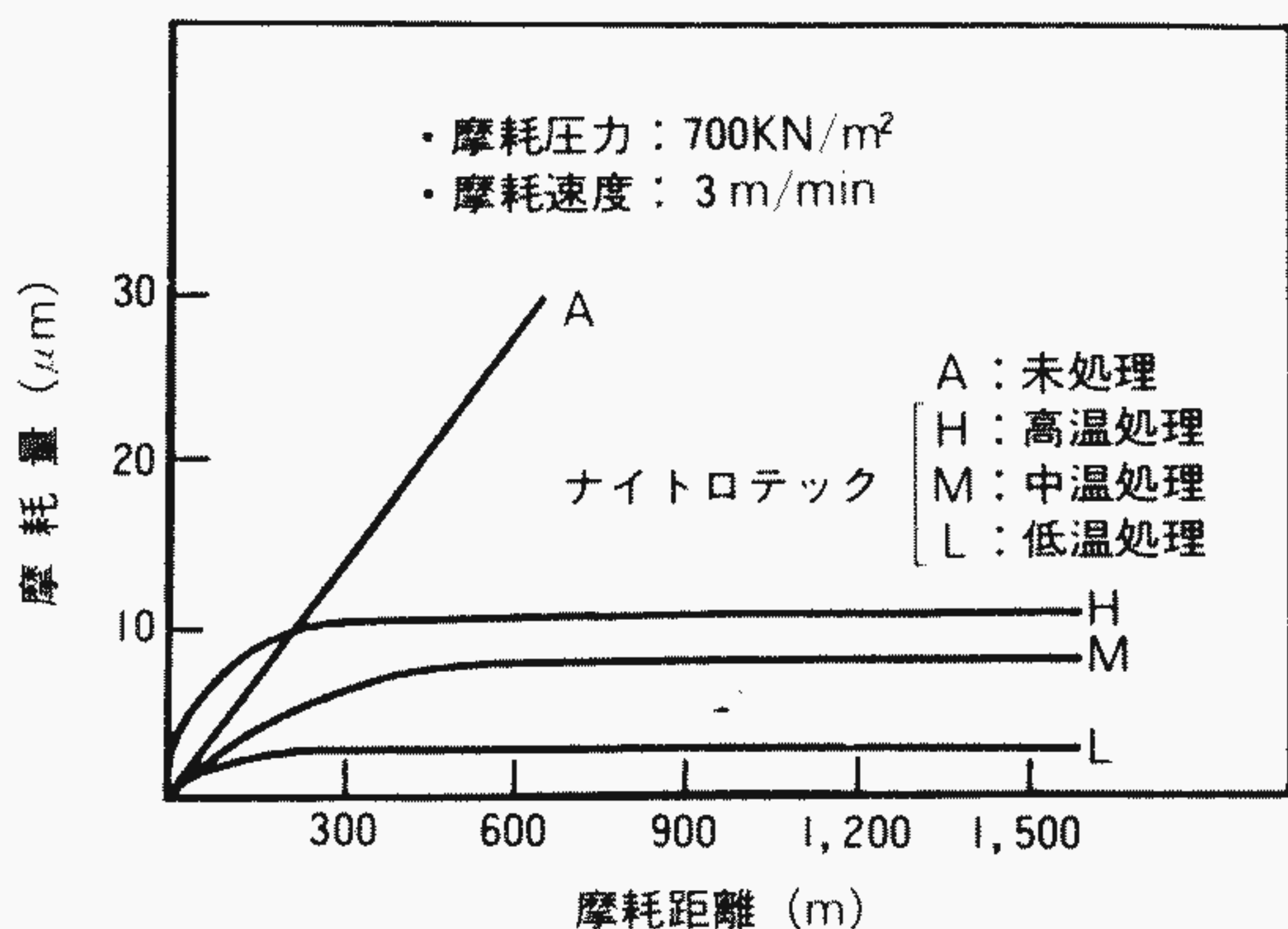


図12 ナイトロテック処理の耐摩耗性（無潤滑）

前述の合金元素を含有する鋼種では、普通鋼に比べ化合物層の硬度も高く、また、拡散層の硬度は0.7~1.0mmの深さまで化合物層の硬度から、なだらかに降下する形状を示すので、0.2~0.3mm位の浸炭処理とほぼ同等の機械的強さを得られると見ることができよう。

500°C位まで焼戻しをしても拡散層を焼入れ時の硬度に近く維持したい場合には、Cr・Mo・V・Wなどの強力な窒化物形成元素を含む鋼種を選定すれば可能である（例：SKD61など）。

3. 耐摩耗性、耐カジリ性

ナイトロテック処理を施した部品は、表面にFe₃Nの化合物層を30μm前後持っており、この部分は、500°C近くまで加熱されても硬度がほとんど低下しないことと、この部分の摩擦係数（μ値）それ自体が未処理の材料に比べ0.1程度減少するため、摺動抵抗の軽減と摩擦熱の上昇に対しても、相手部品が溶着（焼付）しにくくなるので、面接触状態での耐摩耗性、耐カジリ性の改善となる。図12に処理品と未処理品との耐摩耗性の比較を示す。

一般の浸炭処理などに比べると、ナイトロテック処理では硬化層が浅いので、表面にかかる負荷が、点あるいは線接触で面圧が高い場合には陥没することが考えられるので、本処理は適さない。すなわち、一般に、摺動摩耗には強いが、転動摩耗（歯車、ローラベアリングなど）には弱い。

4. 耐食性

従来の熱処理になかった耐食性を一連の処理工程中で付与できることが、本ナイトロテック処理

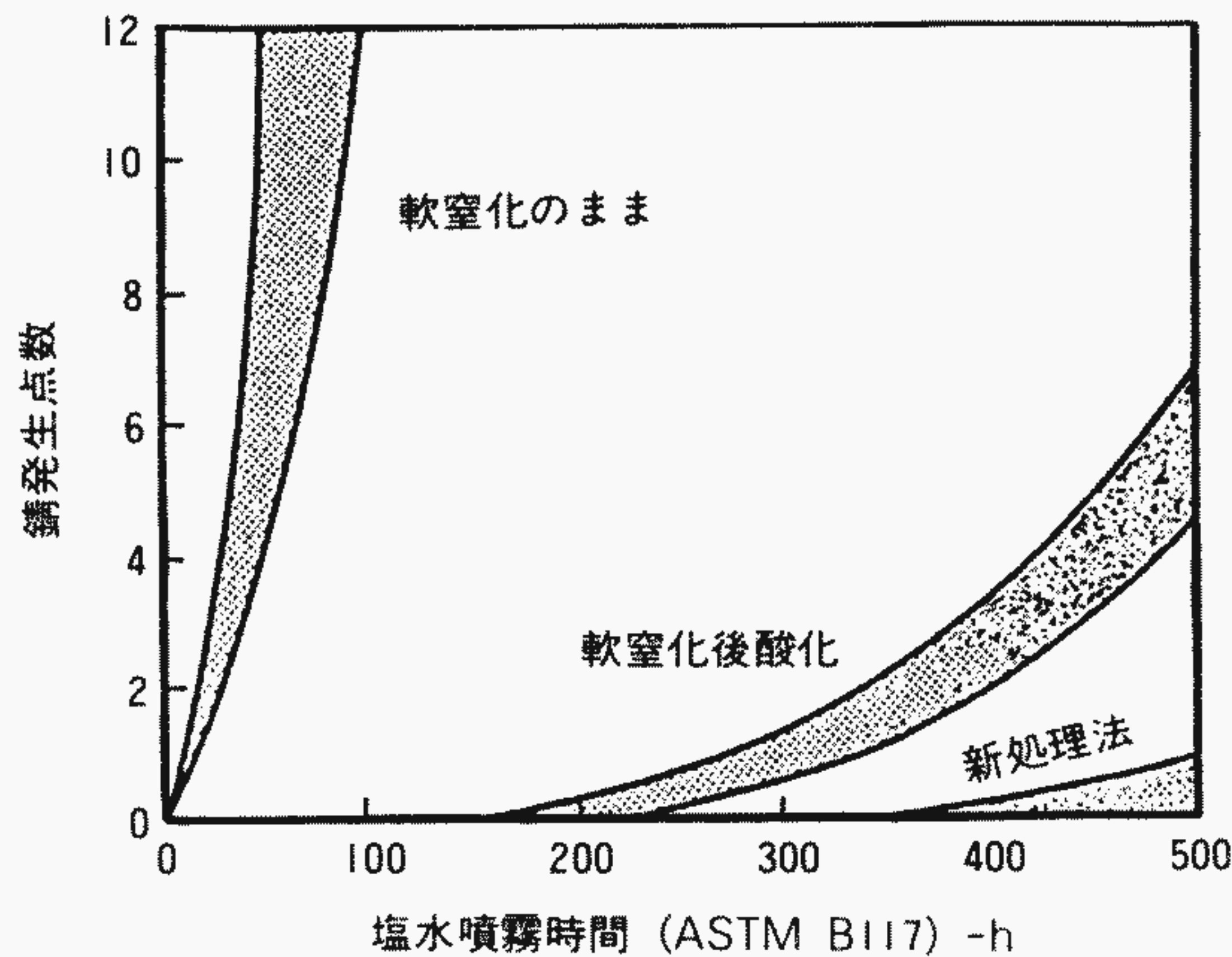


図13 塩水噴霧試験による耐食性

処理種類	防錆油の有無	塩水噴霧時間 ASTM-117 5%塩水	屋外暴露時間
軟窒化	防錆油なし 防錆油塗布	17hr 46hr	200hr 1,000hr
ナイトロテック	シーラントなし シーラント含浸	>72hr >150hr	2,000hr >2,000hr
ナイトロテックS	無給油 油分あり	>240hr >500hr	>2,000hr >2,000hr

図14 熱処理種類別の耐食性比較

の特徴である。すでに述べてきたように、ガス軟窒化工程に続いて行われる短時間での酸化処理により、最表面部にFe₃O₄（四三酸化鉄）の被膜を形成させることで、すぐれた耐食性を持たせることができる。ナイトロテック処理の基本的内容は、ガス軟窒化+酸化+急冷の後、シーラントワックス剤を含浸、乾燥までをいい、図13および図14で示すように、この処理が済んだ部品は塩水噴霧テストで150~240時間の耐食性を有する。

最後のシーラントワックス剤含浸を除いた状態でも、72~120時間位の耐食性が得られる。

ここで、耐食性に差が出る要因としては、主に素材に含まれる非金属介在物の量および品物の加工面性状、コーナ部のエッジの有無などと、品物の取扱いの粗雑さなど、また、品物の表面に熱処理前洗浄脱脂で除去できない付着物（切削くずなど）や、素材の圧延時や鋳、鍛造時にできたスケールなどが付着したままの場合などが耐食性の良否にさまざまに影響すると考えられている。

5. 仕上がり表面粗さ

ナイトロテック処理を行った部品の最表面は、

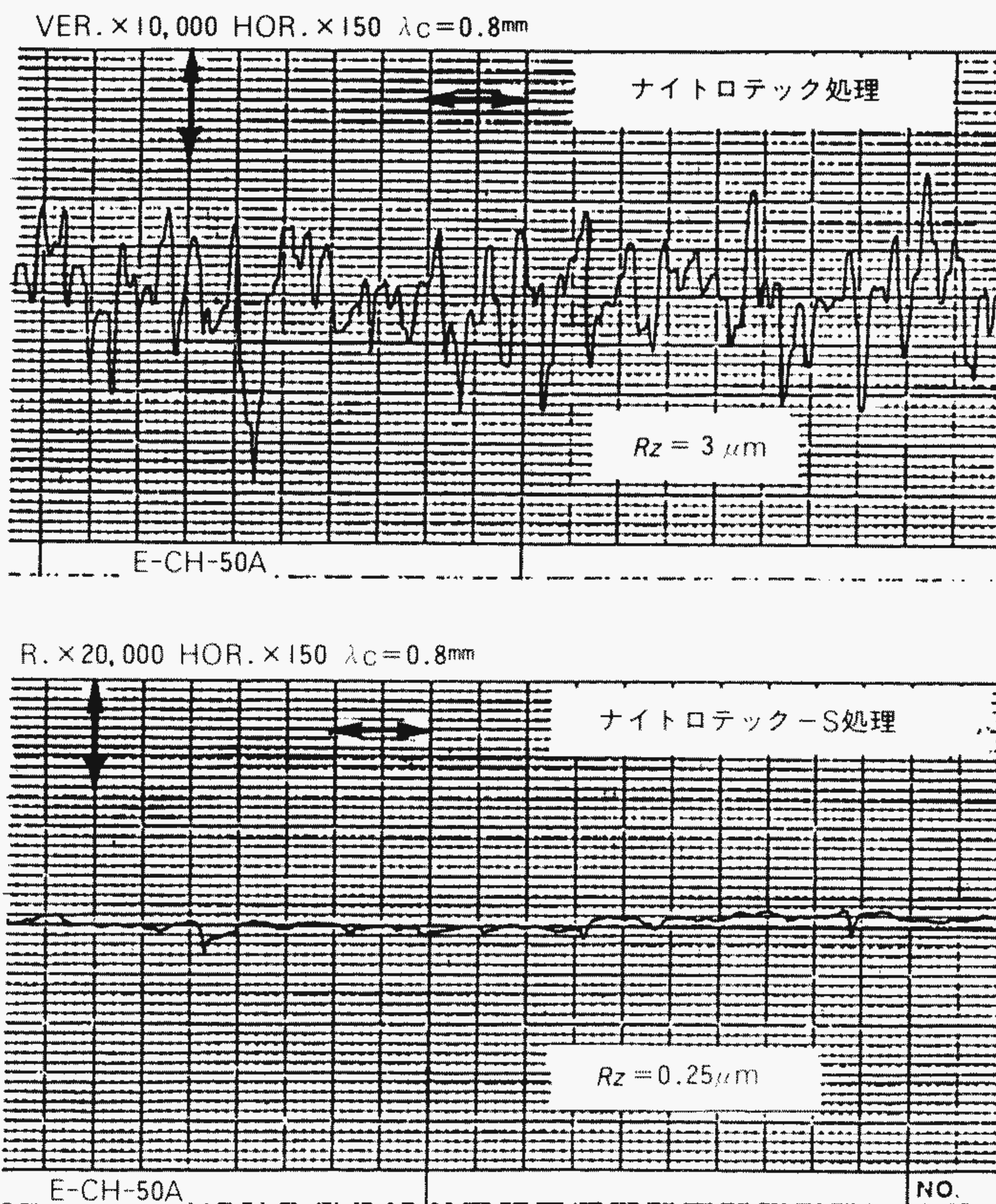
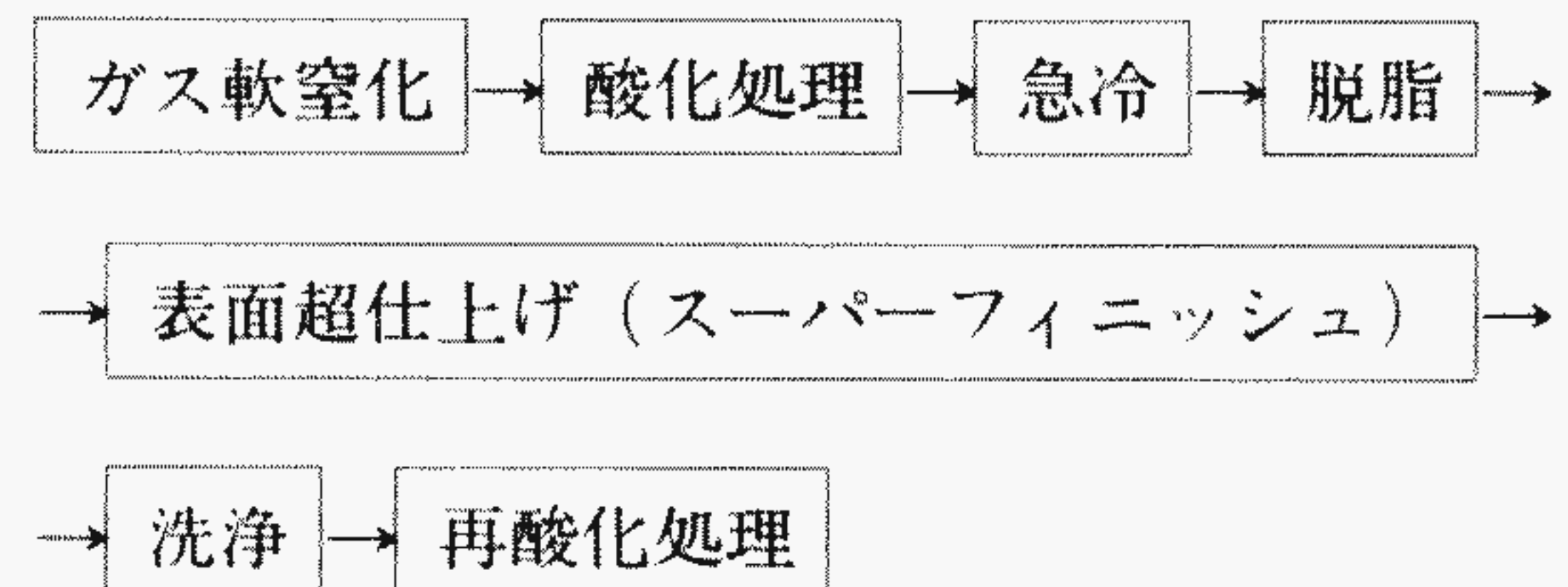


図15
 ナイトロテックおよび
 ナイトロテック-S処
 理品の表面粗さ例

素材である鉄鋼（鋳鉄も含む）と、炉内の雰囲気ガスとから新たに化合物（ Fe_3N ）が形成されるので、原則として処理前の仕上がり表面に沿った形ではあるがミクロ的には、化合物層の最表面の粗さを測定評価することになる。したがってたとえば、鏡面に仕上がった物でも化合物層を $30\mu\text{m}$ 位形成した処理後の粗さは、略 $R_{\text{max}} 3 \sim 4\mu\text{m}$ と見ればよい。

6. ナイトロテック-S

部品によっては、ナイトロテック処理によってでき上がった $R_{\text{max}} 3 \sim 4\mu\text{m}$ の粗さでは粗すぎるという物がある。図15の例のようにたとえば、油圧シリンダのロッドや、ガススプリングロッドのような品物は、内蔵する液体や高压ガスの漏洩防止のために表面粗さを $R_{\text{max}} 0.2 \sim 0.6\mu\text{m}$ 位まで向上させる必要がある。このような要求を満足させるための処理方法として、「ナイトロテック-S処理」がある。工程は次のようである。



この工程のうち、後半の表面超仕上げの方法としてはバレル、砥石、布バフなどの各種研磨方法で必要な面粗さが得られるまで研磨をするが、できるだけ少ない研磨しろ（ $2 \sim 5\mu\text{m}$ ）で終了させることと、研磨しろが部分的に偏りのないことが必要である。このナイトロテック-S処理を施した品物の耐食性は非常にすぐれ、塩水噴霧テストでシーラントワックス剤なしでも240時間をクリアできるので、従来ハードクロームめっきで対応してきたような品物では、圧倒的にナイトロテック-S処理のほうがすぐれた品質となり得る例が多いようである。事実、ヨーロッパではガススプリングロッド（ショックアブソーバ）のピスト

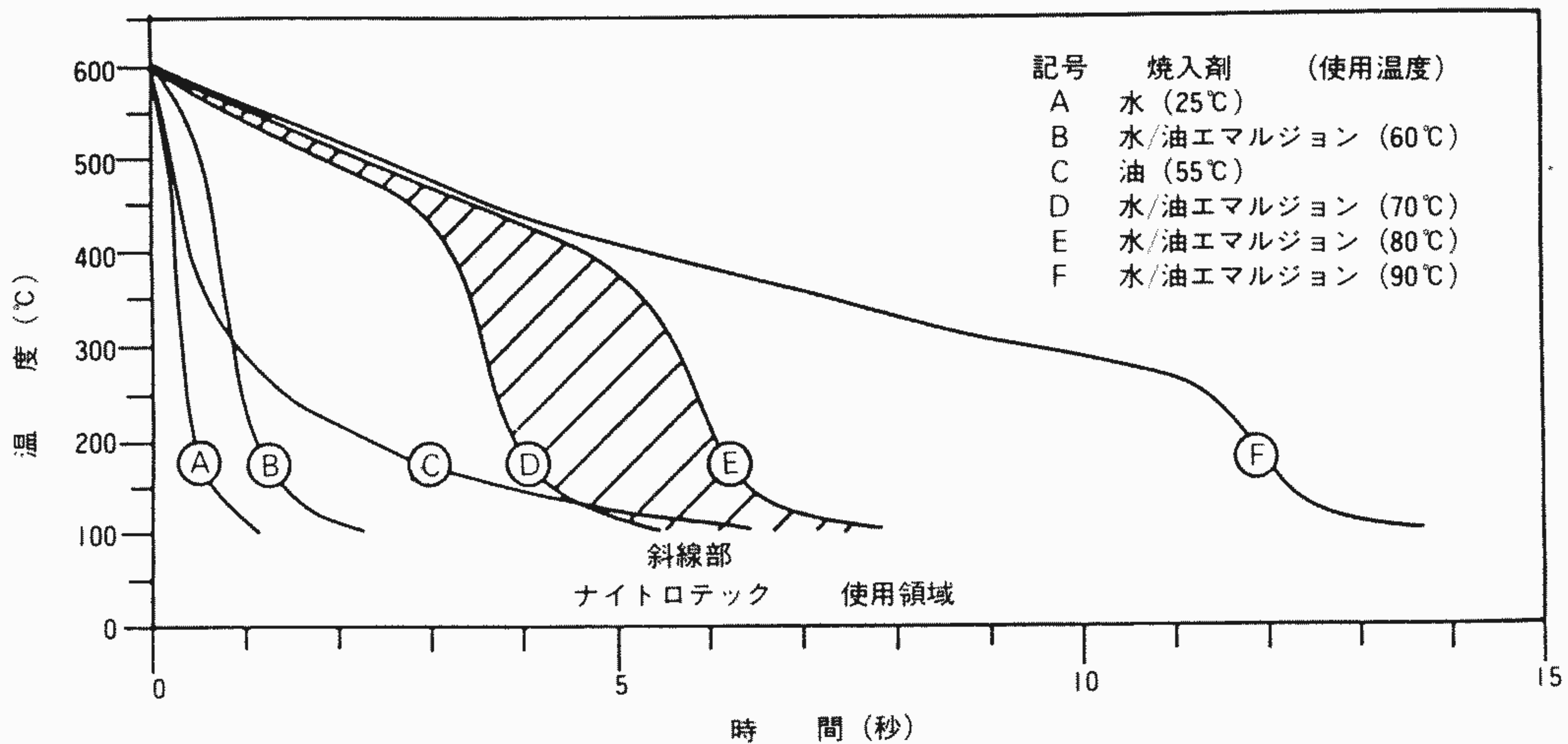


図16 焼入剤の種類による冷却能曲線比較

ンロッドで、ハードクロームめっきから、この種の熱処理に切替わった商品が普及し始めている。とくにガススプリングロッドにおいては、めっき品よりナイトロテック-S処理のほうが、最終的にガスリークが少なく、アブソーバとしての寿命を大きく引き伸ばすことができると見られている。

7. 熱処理歪と寸法変化

ナイトロテック処理は550°C~700°Cの範囲で行われる。これは、鉄のA₁変態点以下での処理のために、処理品素材の組織変化を伴わないので変形、歪みはきわめて少ない。とくに焼入れのための冷却は、図16に示すように水-油の混合のエマルジョン液を使用するので、設定温度の幅が広く、アジテータの速度設定とも組み合わせ、冷却能をさまざまに変えることにより、通常の軟窒化の油焼入品よりも歪を少なくすることができる。

曲りなどの歪については浸炭焼入れに比べ1/10~1/20と少ない。ただし、熱変形の影響は受けるので、薄肉パイプ状のような部品の直径寸法については、変寸量に注意を要する。中空や、切込みのあるような物で、精度の高い部品の、歪量を最小限に抑えるには、機械加工の前に素材の持つ残留応力除去焼鈍、または同等の効果を持つ調質などを行うことが必要である。

化合物層が形成されることにより寸法変化量は、目安として片側で化合物層の厚さの約1/4が上乘せ寸法となる。たとえば軸状の物では化合物層を30μm付けたとすると、直径は10~15μm太ると

見込むことができるので、穴と軸のかん合寸法がきびしく決められている品物ではあらかじめ、寸法変化量を見込んで加工する必要がある。リング状や中空部品での変寸量は、試作確認が望ましい。

寸法変化量は各部にわたって通常の電気めっきに比べ、はるかに一様である。とくに、図17に示すようにねじ加工やスプライン加工部の山部と谷部や、パイプや穴の内部にめっきを施そうとすると電流密度の差や、電極の設置など、たいへん難しくしかも全体に亘って一様なめっき膜厚を得ようとするとは不可能に近く、仕上がり寸法を揃えるには、めっき後に研磨などの寸法決め加工が必要である。この点ナイトロテック処理による化合物層の形成はきわめて一様で寸法管理上も好ましい。

8. 最表面ポーラス層の利用

ナイトロテック処理を施すと、化合物層最表面部にポーラス層ができる。ここの部分を積極的に利用する例として、次のようなものがある。

(イ) シーラントワックス剤を含浸させることで耐食性を大幅に改善できる。

(ロ) 潤滑用油剤を含浸、給油することで、あたかもオイルレスメタルのような摺動性を得る。

(ハ) 完全に脱脂した状態では、表面の塗料やゴムなどの加硫接着に対し、素地の耐食性を維持しながら、しかも相手基材がポーラス層に浸透し強固な接着力を得る(図18参照)。

(ニ) 軽負荷の歯車類では、なじみ性の改善で慣らし運転時間の短縮や、騒音減少効果が得られる。

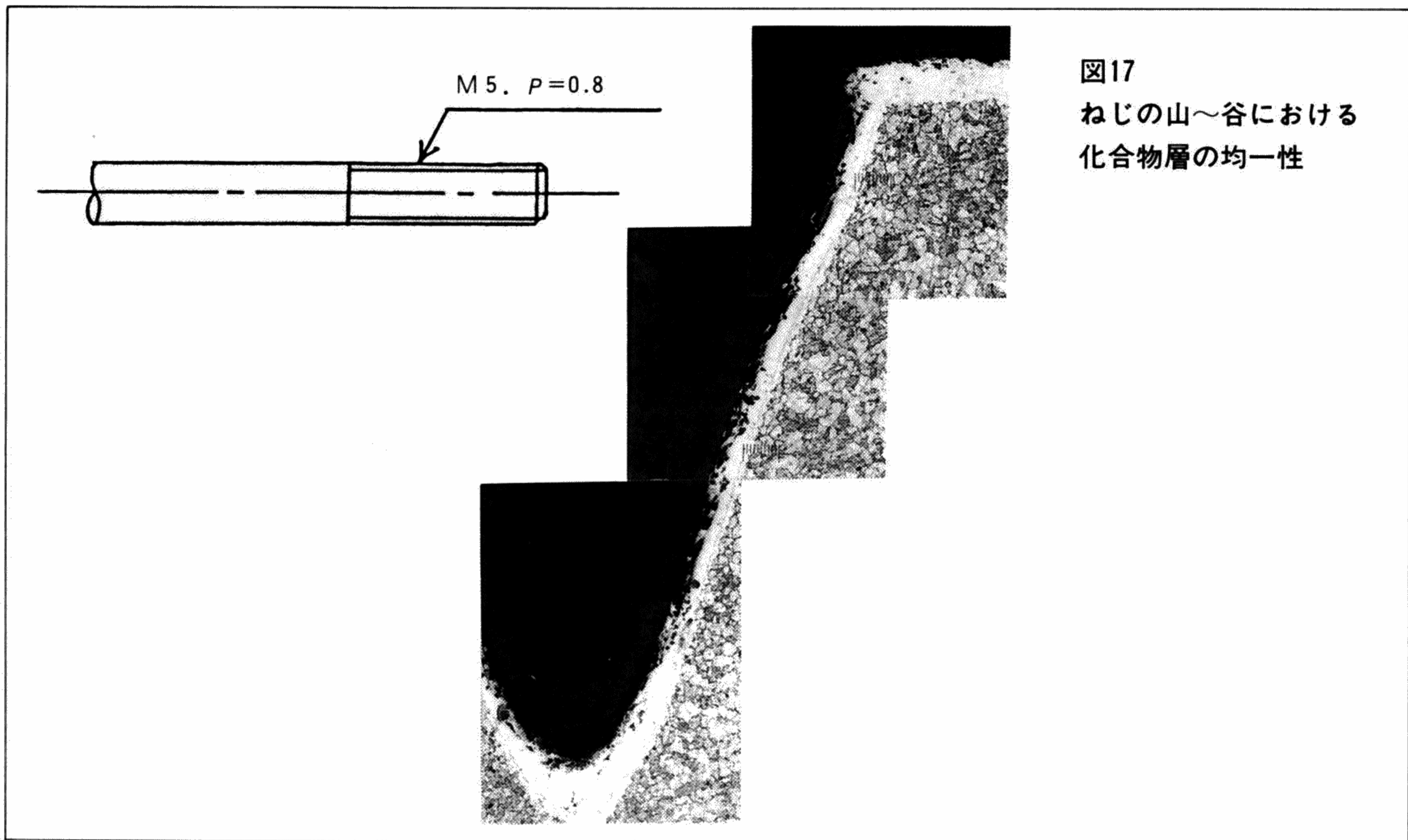


図17
ねじの山～谷における
化合物層の均一性

9. ナイトロテック処理実用例

ナイトロテック処理の実用例を図19に示す。

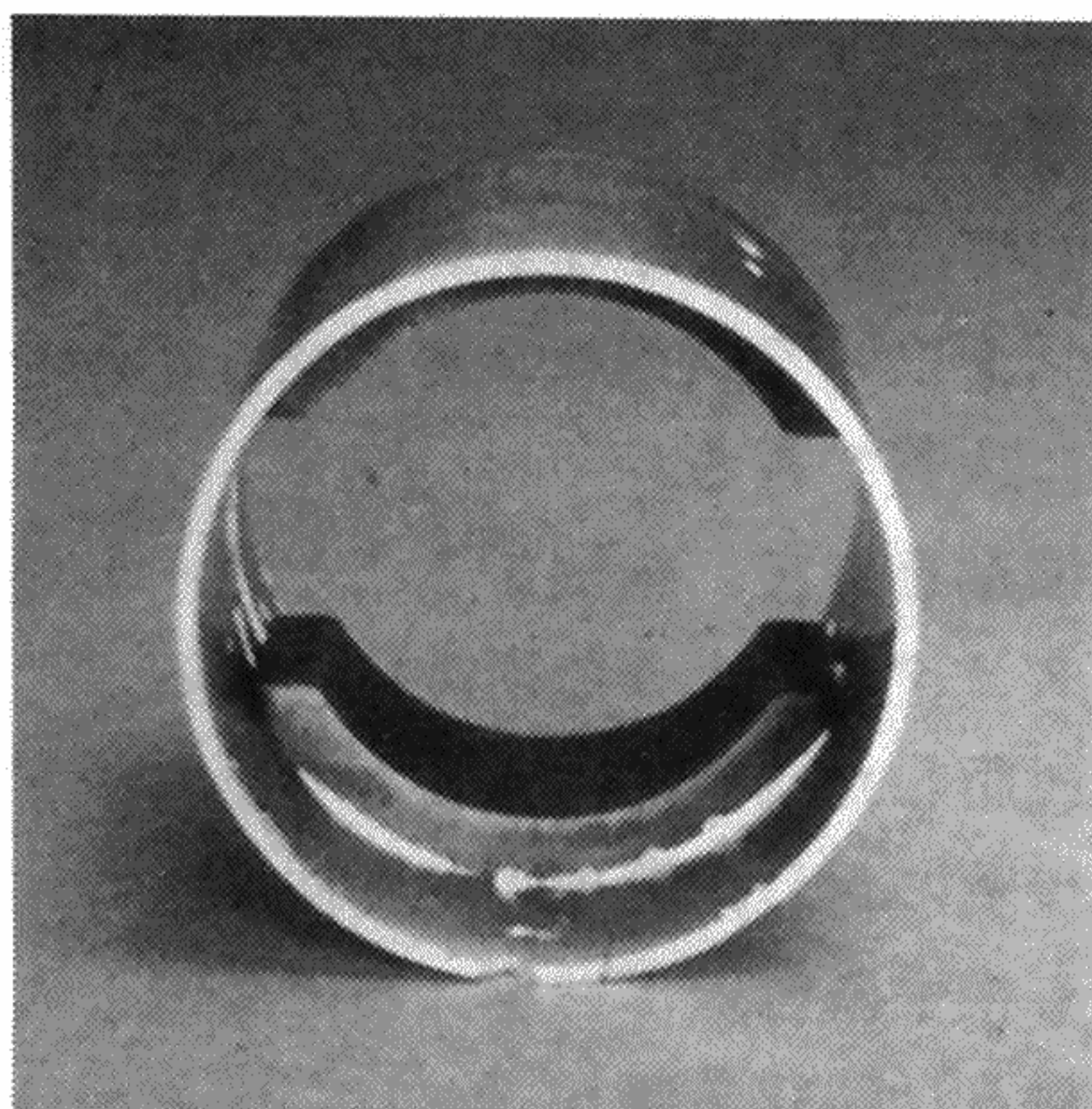
10. その他の留意事項

(イ) ステンレス系材質の品物は、表面の酸化クローム皮膜が窒化を阻害するため、本処理には適さない。

(ロ) ナイトロテック処理をした後工程として溶接を行うと、熱影響部はナイトロテックの効果が低下または、消滅するので、原則として後工程での溶接は避けること。

(ハ) ナイトロテック処理品の一部分をカシメのように大きな曲げ加工を加えると表面の化合物層にはクラックが入り、直下の拡散層も硬度がHv 300以上あるような場合にはクラックが伝わって、目視でも判る程度の大きさに進展する。ただし、低炭素普通鋼（例：S15C）の場合では、化合物層だけのクラックのみで、拡散層への進展はほとんどないが、ナイトロテック処理後に250℃以上で焼戻効果を加えると、なお確実に防げる。

(ニ) ナイトロテック処理を行った部品は、処理



Znめっき品
剝離荷重：500～1,000kgf



ナイトロテック品
剝離荷重：1,250～1,500kgf

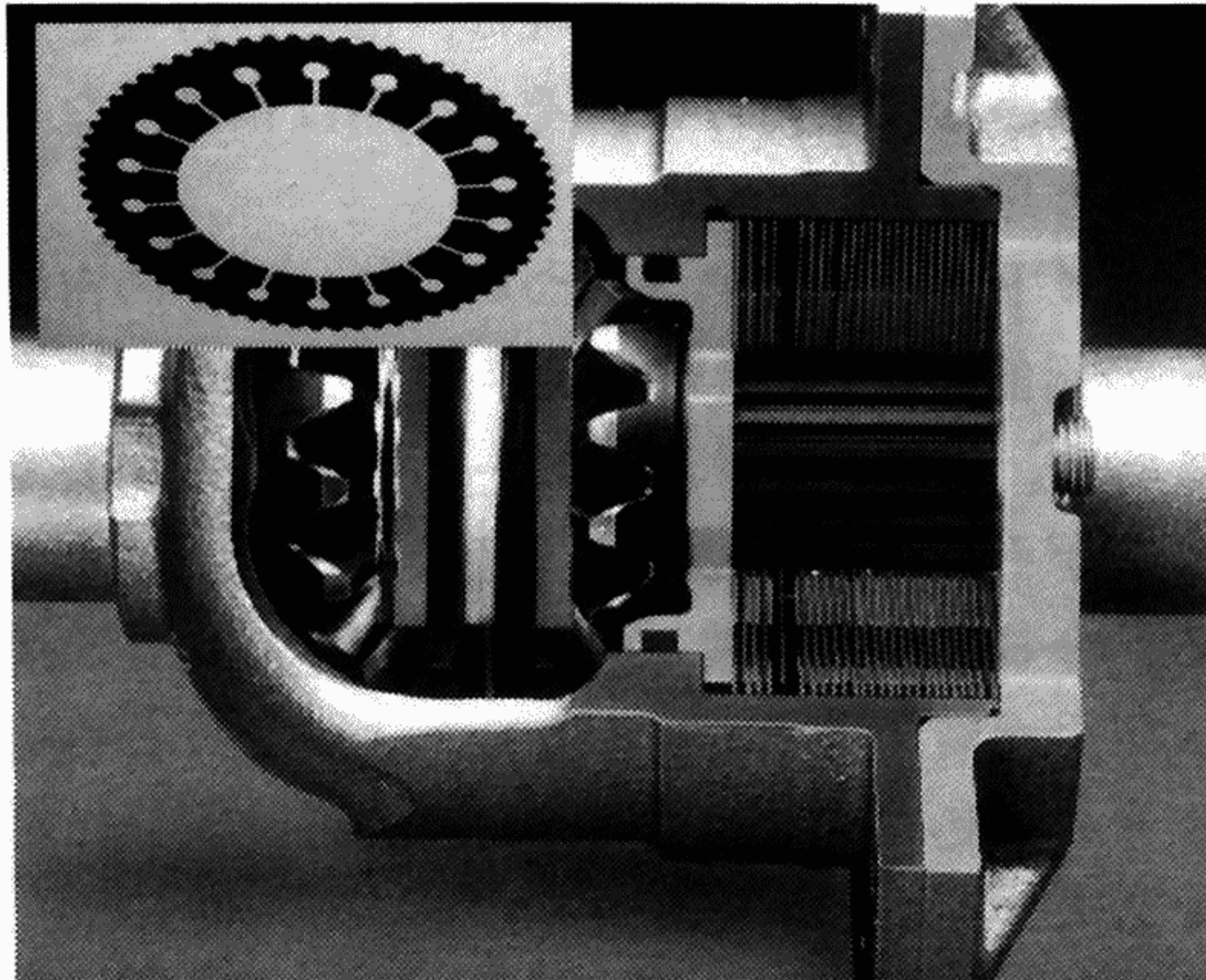
図18
マグネットの接着性
向上例



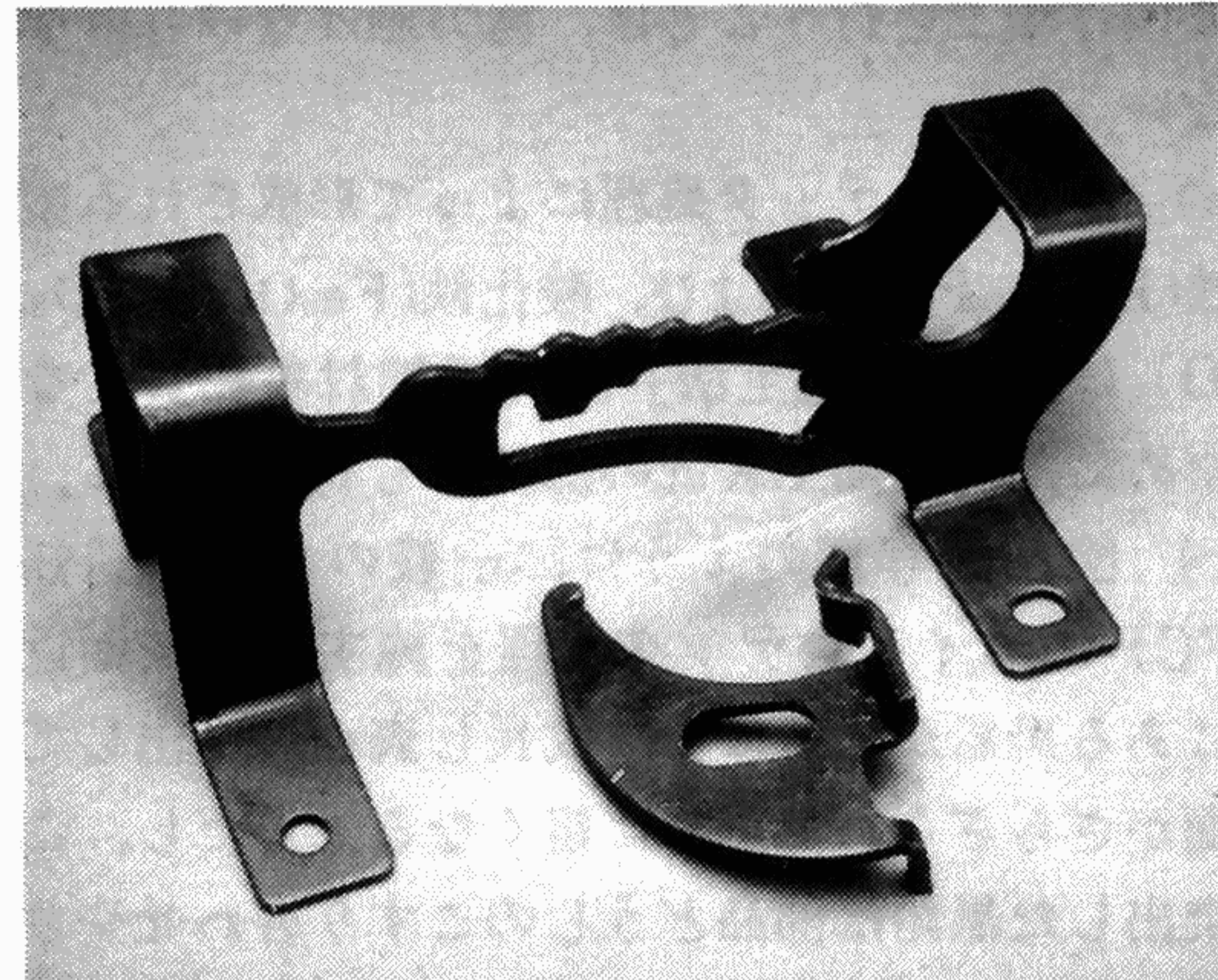
ガススプリングのロッド
 目的：防錆性の向上，耐久性の大幅改善
 ナイトロテック-S処理



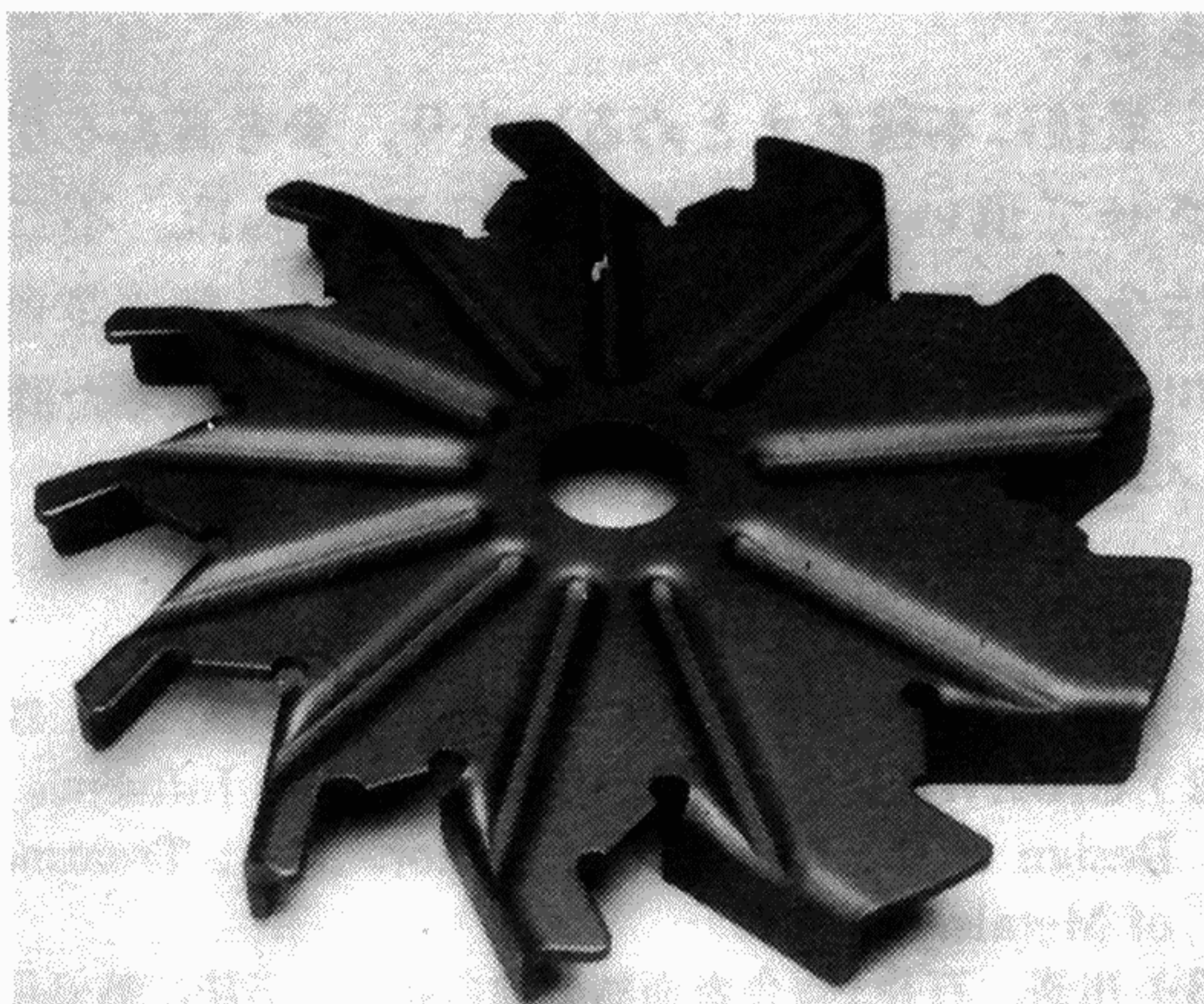
ディスクブレーキのピストン
 目的：耐摩耗性，防錆性向上，工程簡素化
 ナイトロテック-S処理



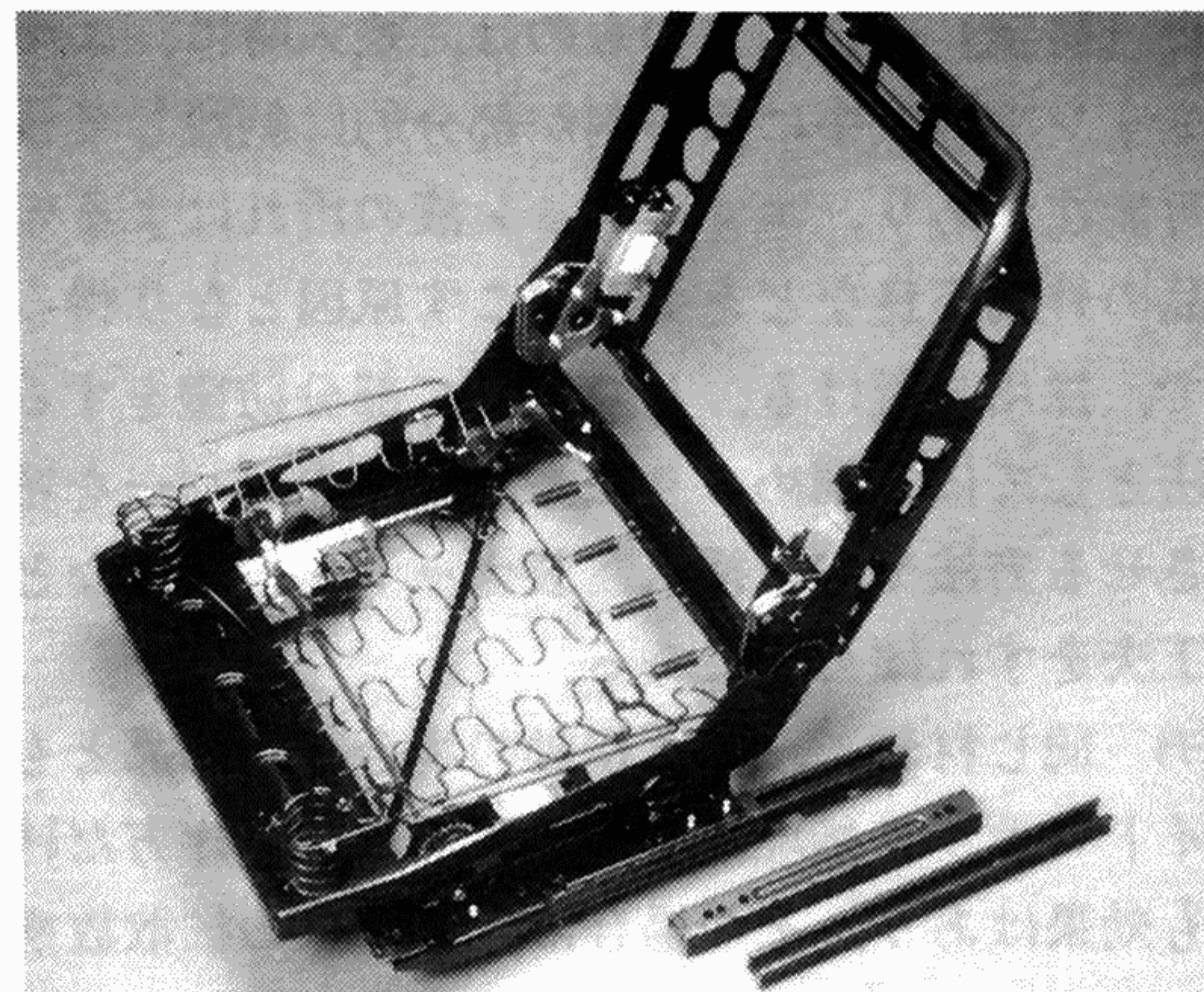
ピスカスカップリングのコントロール板
 目的：強度，耐摩耗性の向上
 0.4mmの薄板でも歪僅少



ATミッションのギアチェンジ用部品
 目的：耐摩耗性，強度アップ，塗装不要
 工程の簡素化



発電機の冷却用ファン
 目的：強度アップで板厚減少，軽量化
 塗装不要，防錆性の向上



自動車用シートのスライドレール
 目的：強度アップで板厚減少，軽量化，
 塗装不要，グリース塗布不要

図19 欧米での実用例



図20 FC材にナイトロテック処理

後に曲げ加工を行うことは、極力避けなければならない。

(ホ) ナイトロテック処理によって形成される窒化鉄(Fe_3N , Fe_4N)および、酸化鉄(Fe_3O_4 , Fe_2O_3 , FeO)は、「食品衛生法」での規制対象物質でないために、食品加工装置の部品にも利用できる。

(ハ) 図20の写真のように、一般のネズミ鋳鉄(FC)にナイトロテック処理を施すと、表面近くにある黒鉛が加熱により成長し表面に突出して、表面がざらざらした感じに粗くなる。ただし、この突出した黒鉛は部品どうしのこすり合わせやオイルストーンなどでこすっても簡単に除去でき、耐摩耗性や耐カジリ性に及ぼす影響はない。

(ト) ナイトロテック処理における部分的な窒化防止方法には浸炭防止と同じ方法がある。ただし、防炭(防窒)剤塗布式のものは、焼入時に、エマルジョン冷却液中に塗布剤が部分的に剥離して残る可能性があり、エマルジョン液の汚れによる処理品の外観不良などを引き起こす原因となり得るので、採用を避ける。したがって部分防窒をする方法としては、銅めっき法や金属製のカバーを密着させる方法や穴に挿入、袋ナットを付けるなどの工夫をすれば可能である。

(チ) 同じ材質で、相互摺動の場合、両部品ともナイトロテック処理するのが理想だが、片方だけでも効果はあり、その場合は、摩擦熱の拡散放熱がしにくいほうの部品にナイトロテック処理するのが良い。ナイトロテック品は、浸炭品や高周波焼入品よりも焼戻(加熱)軟化抵抗が大きいため、耐摩耗性は大幅に向上する。

(リ) ナイトロテック処理前の材料(部品)に、水溶性の防錆剤を使用した場合、一部の種類には、無機質成分が材料の表面にこびり付き、窒化を阻害する物があるので、処理品の前工程における防錆剤は、油性が望ましい。

☆

ナイトロテック処理法は、いまだ日本に導入されて日が浅く、普及度合もやっと緒についた状況である。機械技術の設計・生産技術・品質管理などの技術者にとって、新しい技術を他社に先駆けて取入れることは魅力や興味があるが、同時に、成功しなかった場合の不安感も大きいのは当然のことである。とくに熱処理は、部品の特性を左右する大事な要素だけに、その採用は慎重になって当然と思う。

ナイトロテック処理については、日本の市場にその価値をPRし始めて10年近くなろうとしている昨今、大手自動車メーカー、産業機械メーカーなどがその価値を認め、量産品に採用し始めている。今日、地球環境が云々される中、作業環境や、大気、水質汚染の心配がない、このような処理が従来の熱処理や、表面処理に代わって大いに普及するものと考えられる。

筆者は、ナイトロテック処理の日本における技術導入者の一員として、今後とも本技術に関心を寄せられる皆様方のご理解とご叱正を頂きながら、さらに技術の改良、応用の拡大に努力する所存である。

最後に本稿をまとめるに当たり、参考資料を引用させて頂いたLucas(英)社のC.Dawes氏、不二越冶金工業(株)の山本社長、(株)東洋金属熱錬工業所の川寄部長、並びにデータの整理に協力願った(株)アイゼンの西山工場長に御礼申し上げたい。

参 考 文 献

- 1) 石井彌; ナイトロテック法について, 工業加熱, Vol.22.6
- 2) C.DAWES; Nitrocarburising and its Influence on Design in the Automotive Sector, Heat Treatment of Metals, 1990.1
- 3) 川寄, 石井; 複合表面熱処理の新しい方法, 熱処理, 29巻6号
- 4) 山本誠次; ナイトロテック処理の概要と特性, 金属臨時増刊号, 90/6
- 5) 食品衛生法令, 器具及び容器包装の規格基準他