

金材技研 1979

科学技術庁

ニュース

金属材料技術研究所

NO.4

水蒸気中におけるジルカロイ-2被覆管の内面酸化挙動

軽水炉の冷却材喪失事故を想定した時、ジルカロイ被覆管が急激な温度上昇により破裂し、その破裂口から侵入した水蒸気と反応して管内面の酸化が起る。このような内面酸化挙動を知ることは原子炉の安全性評価の上で重要である。

腐食防食研究部では、被覆管が破裂した後の管内面の酸化挙動を調べるため、ジルカロイ-2被覆管にペレットを充填し、初期封入圧が5MPaになるようにアルゴンガスを封入した。管外側は1気圧の水蒸気を流し、直接通電加熱法により昇温させた。

そのときの管の破裂温度は、 $\alpha + \beta$ 2相変態領域の940℃附近である。破裂による最大円周伸びは破裂開口部にあり、歪はいずれも $20 \pm 5\%$ 以内であった。このような条件のもとで、破裂させたものを1000～1200℃まで昇温し、1～10分間等温保持したときに管外面と内面に形成される酸化皮膜の形態および厚さ変化を調べた。

図1は4分保持したときの破裂開口部から侵入した水蒸気によって管内面に形成された酸化皮膜の厚さ変化を示したものである。管内面の皮膜厚さは、外面に

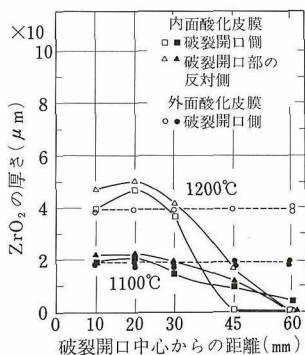


図1 破裂開口部中心点から軸方向に形成したZrO₂皮膜厚さの分布(保持時間4分)

形成された皮膜より厚く、しかも水蒸気の供給が多い破裂開口部近傍よりもむしろ開口部から見てペレットの裏側にあたる水蒸気の供給の少ない個所で最大であった。管の軸方向に対しては、破裂開口部中心点から70mmのところまで皮膜が形成され、20mm付近で皮膜が最も厚くなることがわかった。

外面皮膜はmonoclinic型ZrO₂であるのに対し、管内面皮膜は粗で、monoclinic型ZrO₂とtetragonal型ZrO₂からなることがわかった。

水蒸気と反応したジルカロイ-2の表面は酸化皮膜が、その下地には酸素を固溶した α -Zr相が形成される。室温における延性変化を調べた結果を図2に示した。管内面の酸化が著しい個所では高温で試験した試片ほど延性の低下が顕著であった。しかしながら管内面に形成された皮膜が薄い場合には、かなり延性が残ることがわかった。

以上のことからわかるように、ジルカロイ-2被覆管内面の酸化現象の研究は重要であり、今後とも同現象に関して定量的データを蓄積し、管の酸化と延性低下の関係を調べてゆく必要がある。

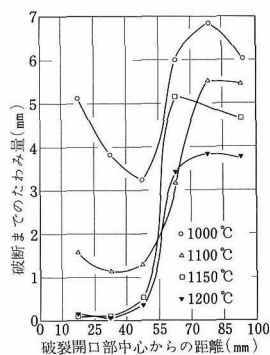


図2 内面酸化した試片の延性と破裂開口部からの距離の関係(保持時間2分)

点集束斜角探触子の設計と試作

溶接部の内部欠陥を検出するための非破壊検査方法として、超音波探傷が昭和40年に公式に採用され始めて以来、次第に適用範囲が拡大し、従来X線だけに依存していた溶接部の内部欠陥の検査に、現在では、超音波を利用することが極めて多くなった。この原因として、装置の進歩のほかに、割れ、溶込不良などの有害欠陥の検出能力において、超音波のほうがX線より優れていることが挙げられる。

一方、近年における破壊力学の進歩に伴い、許容欠陥（割れ）の寸法を指定することが、ある程度可能となってきた。そして、保守検査に際して、欠陥（割れ）寸法測定に対する要求が高まってきた。

このような背景のもとに、割れなどの欠陥の寸法の超音波による測定方法が、各方面で研究・検討されるようになった。それらの手法の中で最も可能性のある方法は、超音波が欠陥の端に当たったとき発生する散乱波を受信して、端の位置を決めることにより欠陥の寸法を測定する方法である（端部ピークエコー法）。ただし、通常の探触子を使用した場合には、信号が弱いため、名人芸を必要とし、かつ、必ずしもうまく測れるとは云えない。

このような状況において、材料強さ研究部では、

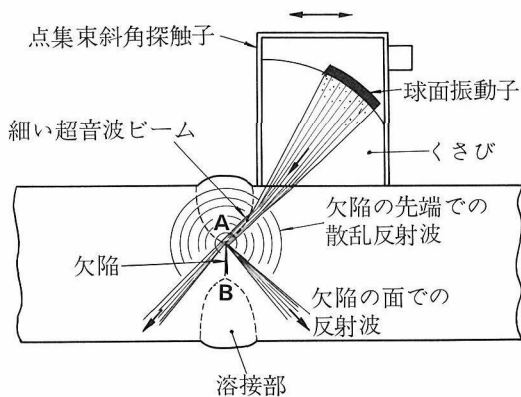


図 点集束斜角探触子とそれによる溶接部の溶込不良の先端の検出

端部ピークエコー法を効果的に使用して欠陥寸法を測定するには、超音波ビームを細くするのが良いとの判断のもとに、斜角探触子の構成要素である振動子に球面振動子を使用する点集束斜角探触子の設計方法の開発を行った。

この設計方法に基づいて、若干の点集束斜角探触子を試作し、その性能測定を行い、概ね、設計通りの性能を得ることができた。

図は、点集束斜角探触子から細い超音波ビームが鋼中に放射され、欠陥の上端(A)に当たったとき、そこから、散乱反射波が円形に生じる様子を示したものである。また、写真は、板厚40mmの突合せ溶接部の溶込不良(寸法約10mm)の上端(A)および下端(B)で生じた散乱反射波によるエコーを示す。写真において、横軸は探触子から欠陥の上端または下端までの距離、Fは欠陥エコーである。これと探触子の位置から、欠陥の位置および寸法を求めることができる。

写真から分かるように点集束斜角探触子を用いることにより、欠陥の上端エコーおよび下端エコーを極めて明瞭に得ることができ、現状においては、欠陥の上下端の位置を±0.5mmの精度で測定することに成功した。

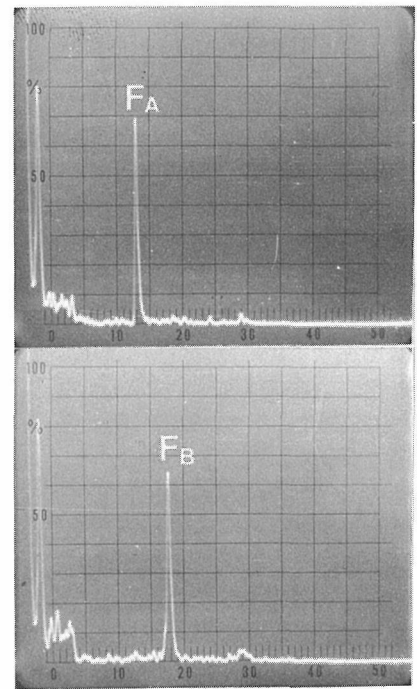


写真 溶込不良の上端エコーF_Aおよび下端エコーF_B

高強度材料の破壊靱性

高強度材料が延性破壊したときには、軟鋼の低温脆性破壊のときに見られる壁開型の破面ではなくて、小さな空洞が多数合体してできた、ふつうディンプルと呼ばれている波状の破面が観察される。このような破面を作る原因となる空洞は、一般には、割れやすい析出物とか介在物から発生すると考えられている。もしそうであるならば、この種の欠陥を完全に除いたときに、金属材料の強度と靱性はどこまで向上するか、という問題が生じてくる。非鉄金属材料研究部では、高強度材料の開発の指針を得る目的で、この種の理論的な研究を進めている。

弾塑性体の中の球形の空洞内部に大きな圧力が加えられると、その空洞はその周りに塑性変形をおこしながら大きくなっていく。弾塑性力学の計算によると、空洞を大きくするために必要な内圧 P_c と材料の変形応力 Y との比 (P_c/Y) は、変形応力の増大とともに小さくなる。これは空洞の周りの塑性変形のおこった部分の厚さが薄くなるためであり、変形応力の高い材料ほど、空洞の成長が相対的に容易になることを意味している。

延性破壊を考えるとときに重要な量は、割れ先端で塑性変形が起ったあとの、実際の応力分布である。この局在する塑性域に伴う応力分布は、その塑性域を近似的に転位配列におきかえることによって計算できる。この方法によって、平面ひずみ状態での開口型の割れの周りの応力分布を計算した。その結果、割れ先端の近くの静水圧成分の最大値 P_m は、上で述べた空洞成長のための限界圧力 P_c よりも少し大きくなること、そしてこの静水圧成分の大きさが P_c よりも大きくなる領域の大きさは、材料の降伏応力と外力の大きさとで決められることが分った。

この領域の大きさがある限界を超えると、多数の空洞の急激な成長を伴う割れの不安定伝播が始まると考えることができる。この限界の大きさを、破面で観察されるディンプルの平均の大きさに等しいと仮定すると、破壊靱性値 K_{Ic} を降伏応力 Y_I および加工硬化指数 n と関係づけて定式化することができる。これをグラフで示したも

のが図である。ただしディンプルの大きさは $1\mu m$ と仮定した。それぞれの曲線につけたパラメータとして nY_I =一定という量を用いているのは、高強度材料では降伏応力を上げると加工硬化指数が低下するという経験則を簡潔に取り入れたためである。この図には、降伏応力がある限界を超えて大きくなると K_{Ic} は急激に小さくなり、そのあと一定値に近づくという傾向が示されているが、これは種々の高強度材料、例えば超強力マルエージ鋼の実験結果とよく一致する。

以上のように、延性材料の中で割れが伝播するときの重要な過程は、割れ先端の近くに生じる大きな静水圧成分が空洞の成長によって解放されることである。多くの実用材料では、その中に割れやすい析出物やはがれやすい粒界などを含んでいる。これらの欠陥の数が増えると空洞の成長が容易になるため、 K_{Ic} の値は低下し、図中の曲線が左下の方に移動すると考えられる。

延性破壊に対する以上のような考え方は、水素脆性や応力腐食割れの機構解明にも役立つものと思われるので、今後はこの方面への応用を意図している。

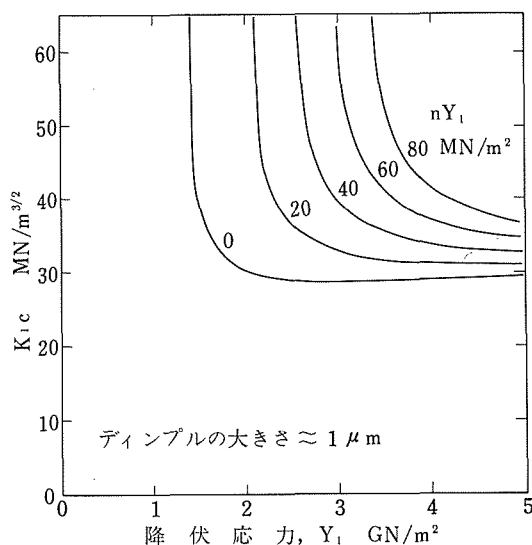


図 降伏応力 Y_I および加工硬化指数 n に対する破壊靱性値 K_{Ic} の変化の様子。

研究成果の発表

1. 国際会議 (○印は発表者を示す)

金属中の水素に関する国際研究集会 (昭和54年3月6日～3月9日, 西ドイツ・ミュンスター)

発表論文 Effect of Hydrogen Absorption on the Magnetic Properties of Intermetallic Compound CaNi_5

○K. Yagisawa and A. Yoshikawa

The ACS/CSJ Chemical Congress (昭和54年4月1日～4月6日, アメリカ・ホノルル)

発表論文 1) The Electrical Conductivity of the Quasi One-Dimensional Compound NbI_4

○H. Kawamura, K. Tachikawa and I. Shirotsani

2) Photoelectric Emission Spectral Analysis of Ni-base Superalloys with Fixed Time Integration Technique.

○H. Okochi, K. Takahashi, S. Suzuki and E. Sudo

希土類 — コバルト磁石国際研究集会 (昭和54年5月22日～5月24日, 日本・箱根)

発表論文 1) Magnetic After Effects in Some Copper Contained Rare Earth-Cobalt Magnet Alloys.

○M. Uehara

2) Coercive Force of Highly Anisotropic Materials Containing Composition Fluctuation.

○H. Maeda

高速中性子炉心構造部材としての金属材料の照射挙動に関する国際会議

(昭和54年6月5日～6月7日, フランス・アジャチオ)

発表論文 Irradiation Embrittlement of High Nickel Precipitation-hardened Austenitic Alloys.

○H. Shiraishi, H. Shinno and R. Watanabe

第3回マルテンサイト国際会議 (昭和54年6月24日～6月29日, アメリカ・ボストン)

発表論文 1) Observation of Early Stages of Martensite Formation in Fe-Ni-Mo Alloy.

○S. Kajiwar

2) Lattice Imaging Study of the Deformation-Induced Transformation from 9R to 3R Martensite.

○S. Kajiwar and M. Fukamachi

2. 春期学・協会発表 (口頭)

学・協会名	発表期日	発 表 題 目	担当研究部
米国化学会・米国応用分光学会共催	3. 5～3. 9	1. 標準試料を用いない浮遊粒子状物質中の重金属のけい光X線分析	金 属 化 学
日本非破壊検査協会	3. 22～3. 23	1. 点集束斜角探触子のビームの太さ 2. 斜角探触子の指向性の計算 3. 磁性液浸透を利用した割れの渦流法による検出	材 料 強 さ " "
日本原子力学会	3. 26～3. 28	1. モリブデンを被覆したバナジウム合金の液体ナトリウム中の共存性 2. 高Niオーステナイト系合金のHe脆化 3. モリブデン表面上の炭素の偏析	原 子 炉 材 料 " 腐 食 防 食 溶 接
溶 接 学 会	3. 28～3. 30	1. アークによる溶融の変動現象と溶融池表面上の斑点の挙動 (第4報) — 静止アークにおける絞様の挙動と溶込みとの関連 — 2. フラッシュ溶接に関する研究 (第2報) — フラッシュ現象と継手性質との関係について — 3. ステンレス鋼と銅との拡散溶接部の超音波探傷 — 拡散溶接に関する研究 (第9報) — 4. 拡散溶接部からのアコースティック・エミッション — 拡散溶接に関する研究 (第10報) — 5. 湿式水中プラズマ溶接による多層溶接について 6. 高張力鋼溶接熱影響部における粒界脆化について 7. SM50B溶接継手の疲れ強さに及ぼす余盛形状の影響についての統計的解析 8. 溶接継手の疲れ試験方法に関する提言 9. 溶接継手の疲れ強さに及ぼす角変形, 目違い量の影響 10. SM50B突合せ溶接継手における疲れ破面の巨視的観察	" " " " " 疲 れ
日 本 物 理 学 会	3. 31～4. 3	1. Nb中に固溶したOの拡散 (常圧)	金 属 物 理
日 本 機 械 学 会	4. 3～4. 5	2. MgのdH vA効果 1. JIS機械構造用炭素鋼の軸荷重疲れ特性	" 疲 れ

日本機械学会	4.3～4.5	2. 鋼の疲労き裂伝ば特性の破壊機構と冶金学的組織による分類（疲労破壊機構図作成の試み） 3. 疲労破壊機構図作成の試み（第4報：枢軸点Pdに対する検討） 4. 疲れき裂伝ばが急速破壊に移行する条件について（第2報HT80の場合） 5. 耐熱鋼SUH660Bの高温低サイクル疲れ特性 6. A5083Al合金の疲れき裂伝ばの遅延現象におよぼす試験片板厚の影響 7. HT80鋼の疲れき裂伝ばの遅延現象におよぼす基準荷重の応力比の影響	疲	れ
日本鋳業会	4.3～4.5	1. 黄銅鋳等（粉）の熱電率 2. 鉛精鋳等（粉）の熱電率 3. 鉛精鋳の定電位酸化 4. CuSの懸濁電解（陰極還元） 5. 硫黄の懸濁電解（陰極還元）による重金属イオン除去と硫化水素の発生	製	錬
日本鉄鋼協会	4.4～4.6	1. 2相ステンレス鋼の靱性と耐孔食性におよぼす低温焼なましの影響 2. 還元ガス雰囲気中での鉄基合金の腐食挙動 3. 高温ガス炉ヘリウム雰囲気における耐熱合金の腐食 4. 還元ガス雰囲気中材料試験の諸問題 5. 5 Ni-0.5Mo鋼溶接熱影響部の組織と靱性 6. 高マンガン極低温用オーステナイト鉄合金におけるMoの強靱性に及ぼす影響 7. 酸化鉄の還元に及ぼす磁場の影響 8. Al-Zr-Ce合金による溶鉄の脱酸と生成する非金属介在物の性質（複合脱酸剤の研究—IX） 9. 還元鉄ペレットの溶解速度におよぼす溶鉄上の溶滓の影響（連続溶解還元技術に関する研究—VI） 10. FeOおよびFe₂O₃を含有する還元鉄ペレットの溶鉄中への溶解速度（連続溶解還元技術に関する研究—VII） 11. SCr4, SCM3, SCM4鋼の疲れ強さ 12. JIS機械構造用Cr及びCr-Mo鋼の疲れ特性 13. 疲れき裂伝ば速度線図における枢軸点の意味（鋼の疲れき裂伝ば特性と破壊機構との関連第1報） 14. 疲れき裂伝ば特性に及ぼす冶金学的組織の影響（鋼の疲れき裂伝ば特性と破壊機構との関連第2報） 15. 疲れき裂伝ば特性に及ぼす応力比の影響（鋼の疲れき裂伝ば特性と破壊機構との関連第3報） 16. SUS316-HP鋼の高温高サイクル疲れ強さ 17. 溶接継手の疲れ強さに及ぼす各種試験条件因子の影響 18. ボイラ管用炭素鋼のクリープ中の固溶窒素量変化と長時間クリープ性質 19. ボイラ管用0.5Mo鋼の粒界キャビティと破断延性 20. タービンブレード用12Cr鋼（SUS403B）のクリープ破断データの評価と冶金学的検討（金材技研における長時間クリープ試験データ・XVI） 21. SUS347HTBのクリープ破断データ（金材技研における長時間クリープ試験データ・XVII） 22. HK40遠心鋳造管の長時間クリープ破断データの評価（金材技研における長時間クリープ試験データ・XVIII） 23. インコネル713C及びX45のクリープ破断データ（金材技研における長時間クリープ試験データ・XIX）	鉄鋼材料	
			原子炉材料	
			強力材料	
			製錬	
			工業化	
			疲	れ
			ク	リ
			リ	ブ
日本金属学会	4.4～4.6	1. CaNi₅金属間化合物の酸化 2. 金属間化合物CaNi₅の磁気的性質に及ぼす水素吸蔵の影響 3. ドハース・ファンアルフェン効果を通してみた伝導電子の運動状態 — フェルミ面, 散乱, 磁気的相互作用etc. 4. FeSi₂熱電素子の熱電特性と耐熱性 5. FeCo₂V規則合金のミクロ組織と靱性 6. バラジュウム, 白金, 金ベースの金属合金におけるガラス遷移について 7. 鉄単結晶のくり返し変形の温度依存性 8. 9 R → 3 R マルテンサイト変態過程の格子像及び電子回折による研究 9. BCC → 3 R 繰返し変態とBCC相中の転位構造 10. Fe-Niマルテンサイトの逆変態における形状変形の可逆性 11. Nb-Hf合金芯を用いたNb₃Sn複合加工超電導線材の研究 12. 化合物超電導線材の応力効果（第1報） 13. 铸造耐熱合金(64BC-5 MW, TM-47)中の析出物の電解抽出	金属物理	
			非鉄金属材料	
			金	属
			物	理
			化	学

日 本 金 属 学 会	4.4～4.6	14. 硫化イットリウムの製法とその電気伝導度 15. 溶鋼の一次脱酸および二次脱酸 16. 難加工性材料の高温高压押し加工法の研究 17. 多重圧りを行っている単結晶Nb内の転位の低温挙動 18. TiC-Ni系混合粉末の示差熱分析	製 錬 " 金 属 加 工 材 料 強 さ " 金 属 加 工 腐 食 防 食 "
粉体粉末冶金協会	5.14～5.16	1. ステンレス鋼/低合金鋼系積層圧粉体の焼結条件	金 属 加 工
腐食防食協会	5.17～5.19	1. 流通水道水による炭素鋼管及び亜鉛めっき鋼管の腐食試験 2. 304ステンレス鋼の高温水中応力腐食割れ検出における渦電流法及びAE法の適用	腐 食 防 食 "
材 料 学 会	5.22～5.23	1. 高温低サイクル疲労寿命のひずみ波形効果と疲労寿命の推定	疲 れ
日 本 鋳 物 協 会	5.29～5.31	1. 鋳造工場間の金型製造工程データの解析に関する一考察 2. 表面部を鉄焼結体とした鋳造用金型材について 3. 水溶性鋳型鋳物の靱性に関する研究 4. 水溶性鋳型鋳物の残留応力に関する研究 5. 水溶性鋳型の実用化試験	金 属 物 理 金 属 加 工 " " "

【特 許 紹 介】

金型鋳造用鋳鉄の溶解法

発明者 菊地政郎, 宮田征一郎

公 告 昭和52年1月18日, 昭52-1881

特 許 昭和52年8月10日, 第876268号

この発明は, 金型用鋳鉄の製造法に関するもので, 炭素, けい素, マンガン, 燐, いおうの含有率が通常のねずみ鋳鉄の範囲内にある鋳鉄の溶湯中に, 晶出黒鉛かあるいは析出黒鉛の少くともどちらか一方を含んでいる鉄-炭素系合金を添加したのち, 接種剤を添加することを特徴とする金型鋳造用鋳鉄の溶解方法である。これは, 鋳鉄のチル発生を防止すると同時に, 材質的にも優れた鋳鉄を製造することを目的としている。

一般に, 鋳鉄の金型鋳造においては, 冷却速度が早い場合チル化しやすく, チル防止のために次の様な対策が講じられている。(1)化学組成の調整, (2)接種, (3)塗型。しかし, これらは完全なものではなく, さらに金型の寿命を長くするために, 金

型の使用温度を低くした場合には, チルの発生はほとんど避けられないという欠点があった。

本発明者は, 以前に, 鋳鉄の溶湯中に, 晶出黒鉛かあるいは析出黒鉛の, 少くともどちらか一方を含んでいる鉄-炭素系合金を鋳込み前に添加することにより, これらの欠点を解決することに成功した。しかし, この方法はチル防止には効果的であったが, 材質の面からは改善すべき点があった。

この発明は, この様な点を改善するためになされたもので, 特に薄肉鋳鉄, 金型温度を低くした鋳鉄の金型鋳造などには有効である。

3.8%C, 1.8%Si, 0.4%Mn, 0.05%P, 0.01%Sの化学組成の鋳鉄を1450℃で溶解し, これに上記と同じ化学組成の鉄-炭素系合金(鋳鉄)を添加し, 更にこの鉄-炭素系合金が溶解後, 接種剤(Ca-Si)を0.2%添加し, 肉厚3mmの金型に鋳込んだ。チルの発生は全くなく, その黒鉛組織も一様な均一組織であった。これに反して, 接種しないものは, その黒鉛組織が不安定で, バラツキが大きかった。

◆ 短 信 ◆

● 所内公開

科学技術週間(昭和54年4月16日～4月22日)行事として, 次のとおり一般に公開し, 研究業務及び設備の紹介を行ないます。

本所 昭和54年4月19日(木) 13時～17時

筑波 昭和54年4月18日(水) 10時～16時

● 受 賞

日本鉄鋼協会 西山記念賞

吉松史朗 工業化研究部第1研究室長

「鉄鋼製錬技術の改善に関する基礎的開発研究」に対し昭和54年4月4日表彰を受けた。

市村賞 貢献賞

稲垣道夫 溶接研究部長

岡田 明 溶接研究部第2研究室長

「小径配管の精密自動溶接装置の開発・実用化」に対し昭和54年4月4日表彰を受けた。

日本金属学会 谷川ハリス賞

郡司好喜 製錬研究部鉄製錬第3研究室長

「溶鋼の1次脱酸と2次脱酸」に対し昭和54年4月4日表彰を受けた。

日本金属学会 功績賞

小川恵一 金属物理研究部主任研究官

「ドハース・ファン・アルフェン効果を通してみた伝導電子の運動状態—フェルミ面, 散乱, 磁気的相互作用」に対し昭和54年4月4日表彰を受けた。

日本金属学会 功績賞

梶原節夫 非鉄金属材料研究部主任研究官

「マルテンサイト核形成に及ぼす転位及び結晶粒界の影響」に対し昭和54年4月4日表彰を受けた。

● 海外出張

八木沢孝平 金属物理研究部主任研究官

金属中の水素に関する国際研究集会出席及び研究調査のため, 昭和54年3月2日から昭和54年3月16日まで西ドイツ国及びフランス国へ出張した。

通巻 第244号

発行所 科学技術庁金属材料技術研究所

編集兼発行人 保 坂 彬 夫

印 刷 株式会社 三 興 印 刷

東 京 都 新 宿 区 信 濃 町 12

電 話 東 京 (03)359-3811(代表)

東京都目黒区中目黒2丁目3番12号

電 話 東 京 (03)719-2271(代表)

郵 便 番 号 153