

NO.10

金材技研 1973

科学技術庁

ニエース

金属材料技術研究所

水深300m相当の圧力下における湿式プラズマ溶接

海洋開発関連技術の一つとして、水中溶接法の開発研究が各所で進められているが、溶接現象ならびに溶接結果におよぼす水深の影響については、実験環境の得難さゆえに、公表された実験結果は極めて少ない。

溶接研究部では、かねてより、プラズマジェットを併用するプラズマ溶接を湿式水中溶接に適用する研究を進めているが、この研究の一環として、 $30\text{kg}/\text{cm}^2$ の水圧に耐える圧力水槽を本年初めに設置し、これを用いて湿式水中プラズマ溶接におよぼす水深の影響を求める実験を開始した。

本溶接法の主体をなす、アルゴンを作動ガスとするプラズマジェットは、 $30\text{kg}/\text{cm}^2$ （淡水の水深300mに相当）までの加圧淡水中においても安定に維持しうる。この場合、水圧が高くなると、それに応じた圧力の作動ガスが供給されるので、ジェット電流を一定にし、かつ、各圧力下における作動ガス流量を同一にしてもジェット電圧は上昇し、水中に形成される空洞は安定するようになる。

このプラズマジェットを導体として、SM41A

鋼板上にプラズマアークによるビード溶接を行なった。プラズマアーク電流は100および130A、溶接速度は $5\text{cm}/\text{min}$ に一定した。この結果、 $30\text{kg}/\text{cm}^2$ 下の水中においても溶接金属を形成し得ること、水圧が増すと溶込み比（溶込深さと溶接金属の中の比）は大気圧下のそれに比べて大となること、 $10\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上の水圧下で得られた溶接金属中には気孔が認められないこと、このような条件下ではプラズマアークは安定に維持されることなどが判明した。

以上、予備的な実験を通して、水深300mまでの静水中でプラズマ溶接を行ないうる見通しが得られた。現在、各水圧について詳細な実験を継続しており、さらに、設置した圧力水槽は 180° 旋回が行なえるので溶接姿勢の影響についても実験を進める計画である。

なお、大気圧下および $30\text{kg}/\text{cm}^2$ 下の水中に形成されたプラズマジェットの空洞と $30\text{kg}/\text{cm}^2$ 下で得られた溶接金属の外観、X線透過写真および断面マクロ組織の1例を写真に示した。

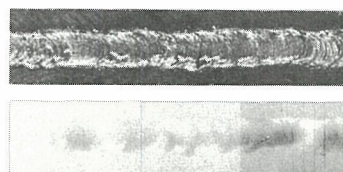


大気圧下の水中
作動ガス流量 $3\text{ l}/\text{min}$
ジェット電流 100 A

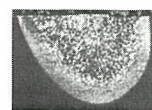
プラズマジェットにより形成される空洞
（いずれも背光写真 $f:4.5, 1/1000\text{sec}$ ）



$30\text{kg}/\text{cm}^2$ 下の加圧水中
作動ガス流量 $1.5\text{ l}/\text{min}$
ジェット電流 100 A



$30\text{kg}/\text{cm}^2$ 下の加圧水中で得られた溶接金属の外観、X線透過写真と断面マクロ組織
（溶接条件：作動ガス流量 $1\text{ l}/\text{min}$ 、プラズマジェット電流100 A
プラズマアーク電流130 A、溶接速度 $5\text{ cm}/\text{min}$
（X線透過写真でやや白く見える部分は溶接金属の凹部であって、気孔等の内部欠陥は認められない。）



変調構造に関する研究

溶質原子の濃度やクラスターまたは析出物が周期的に分布した組織は変調構造と名付けられている。このような変調構造は、結晶内に周期的な歪分布や結晶ポテンシャル分布を導入し、転位や電子の運動、磁気異方性などに影響をおよぼす。その結果、材料の機械的性質、電気的性質、磁気的性質、再結晶特性などに著しい影響を与えられている。このため変調構造の研究は、合金の性能改善のための方途を与えるものとして、期待されている。

しかし、変調構造に関する研究は緒についたばかりであり、解決しなければならない多くの問題を含んでいる。例えば変調構造の生因にしても、ある研究グループはスピノーダル分解のみを重点的に考え、ある研究グループはスピノーダル分解以外の方法で変調構造が形成されることを主張している。

非鉄金属材料研究部では4年前から変調構造の研究に着手した。得た結果の1例を表に示す。ここで低温における初期時効過程がスピノーダル分

表 Cu-4%Ti合金の時効過程

時効温度	時効初期	時効後期
～350℃	スピノーダル分解	前期サイドバンド
350～550℃	前期サイドバンド	後期サイドバンド
550～700℃	後期サイドバンド	β' 析出

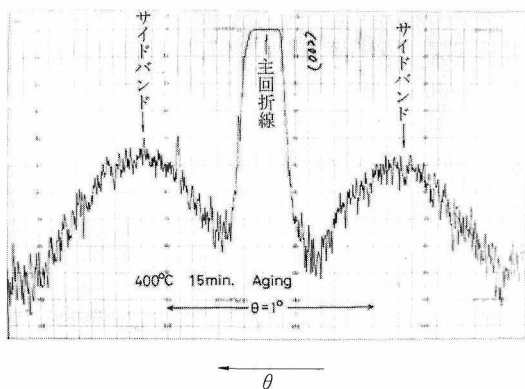


図1 Cu-4%Ti合金の粉末法によるX線回折像

解であることは、小角散乱法によるX線解析により確認した。高温で時効した試料の主回折線には、サイドバンドとよばれる異常回折線を付随する。

1例を図1に示す。このような回折像の解析から、時効初期に生じる前期サイドバンドは、周期的に分布したゾーン・コンプレックス(図2(a))による回折効果であると考えた。また時効後期に生じる後期サイドバンド過程では、固溶体は図2(b),(c)に示すような濃度分布をもっているとした。図2(a),(c)の濃度変動は、古くから知られ、かつ合金の強化に利用されていたG.P.ゾーンの3相モデルおよび2相モデルに対応する。以上のようなモデルに従えば、スピノーダル分解のように新しい概念や古くから知られている諸現象と変調構造との相互関係が明瞭に説明できる。

しかし変調構造という概念が意義をもつのは、何よりもまず、変調構造が合金の諸性質に著しい影響を与えると予測するところにある。この点に関する研究の一環としてCu-4%Ti合金の降伏強度を研究し、その変化は図2のような固溶体中の濃度変動の変化とよく対応することが判明した。しかし周期性という変調構造の核心を考慮に入れるには、問題の取り扱い方に工夫と新しい考え方の展開を必要とする。現在このような点を含めて変調構造のもつ本質的な意義を解明すべく研究を進めている。

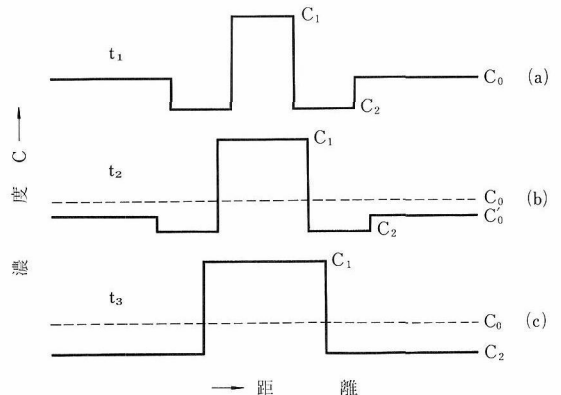


図2 サイドバンドに対応する固溶体中の濃度変動
(a)前期サイドバンド (b),(c)後期サイドバンド
時効時間 $t_1 < t_2 < t_3$ C_0 は固溶体の平均濃度

アーク溶接におけるスパッタリング

アーク溶接において、スパッタリングはよく我々の経験する現象の一つである。しかし、この方面の系統的研究はきわめて少ない。溶接研究部では、主としてアーク溶解による溶融金属中へのガス溶解量の測定を中心とした研究を実施してきたが、これらの実験を通してアーク現象的にも興味ある現象が観察された。すなわち、アーク溶解による溶融金属中のガス溶解量とスパッタリング現象との間に密接な関係があることである。今回はスパッタ粒子の発生原因をFe-N系について化学冶金の見地より考察を行なったので報告する。図に純鉄（酸素含有量260ppm）を各種窒素分圧下（ $P_{N_2} + P_{Ar} = 1 \text{ atm}$ ）でアーク溶解したときの窒素含有量とスパッタ粒子発生域を示す。図中の破線は非アーク溶解法（レビテーション溶解）で得られた平衡論的窒素溶解量であり、アーク溶解の場合よりも約 $\frac{1}{10}$ 程度小さい溶解量を示している。アーク溶解では、雰囲気窒素濃度が0.4% N_2 以上になると溶鉄中の窒素溶解量はほぼ一定（0.06~0.07%）となってしまう、さらに興味あることは、この窒素溶解量が一定となる範囲では溶鉄からスパッタ粒子が生じ、その発生量は雰囲気窒素分圧の増加とともに増大し、さらに高窒素分圧（5% N_2 以上）では溶鉄から爆発的にガスを放出するようになる。

スパッタリング現象を高速度カメラ（3500コマ/秒）による撮影結果から判断すると、スパッタ粒子を飛行させる駆動力は溶融金属内部に生じ、そ

の粒子の発生位置は、アーク直下周辺部の溶鉄表面が最も多い。このスパッタ粒子を押出す時間は極めて短かく、写真より1/1000~1/5000秒程度と判断され、またそのスパッタ粒子の放出力は1.4~4気圧と計算された。

つぎに、我々が最も知りたいスパッタ粒子を押出させる駆動力はいかにして生じたものであるかについて考えてみよう。

溶鉄内部に気泡が生じ、これが気相中に放出されるときスパッタリング現象を生じることが高速度写真より推定される。溶鉄内に気泡を生ずるためには溶鉄中のガス溶解量が注目ガスの分圧1気圧に相当する平衡論的溶解量以上にならない。それでは、実際のアーク溶接、溶解において上記のことが可能なのであろうか。然り、それは可能である。アーク直下の溶鉄はアークを通して活性化したガスが多量に溶解（平衡論的溶解量に比して）するが、一方、溶融池の対流作用によってアーク直下の溶鉄はアークスポット部から離れてしまう。すると、この部分は非アーク気相に対しては過飽和（ガス溶解量が）となる。したがって、この過飽和ガス溶解量に相当するものがガスとなって溶融金属中に放出され、高圧力の気泡を生ずるものと考えられる。

以上はスパッタ粒子放出力に対する定性的説明であるが、高速度写真より解析されたスパッタ粒子放出力とガス溶解量との関係から定量的に説明することができる。

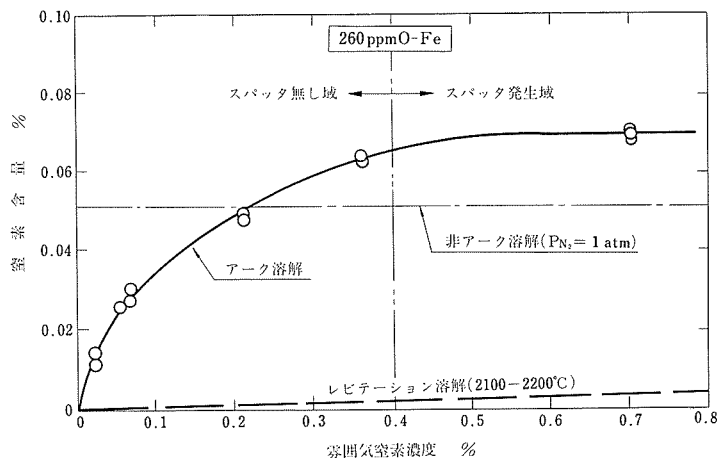


図 窒素含量とスパッタ発生域

【特 許 紹 介】

開先中心位置および開先精度の 検出方法ならびに検出電極

特許出願公告 昭47-50503

公 告 日 昭和47年12月19日

この発明は加工材の開先に沿って走行させる溶接機のトーチの位置および開先の精度の変動に対する溶接条件を的確にきめて欠陥のない溶接を行なうための、開先の検出方法と検出装置である。

船体、橋梁、その他の大型構造物の自動溶接においては、溶接機の溶接ワイヤを加工材の中心に走行させるように位置合せすること、および加工精度の不均一な開先に対して絶えず溶接条件を追従させることが重要で、とくに片面溶接においてはこれらの操作が重要である。

この発明は図1に示すように相互に向き合った2つの開先面に対して、平行な面または線をなす電導体を具えた検出電極を装備し、これを開先内の溶接方向へ移動させて開先面と電極間との間の静電容量の変化を測定して、開先中心位置と開先精度を連続して計測できるようにした。このようにして得た開先の情報を片面溶接や高速溶接に提供し、これにもとずいて開先とトーチの位置関係および溶接電流を調節することにより欠陥のない継手を得るものである。

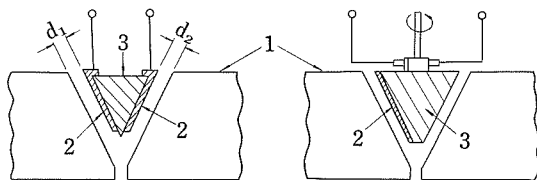


図1 開先中心位置および開先精度の検出電極

- 1. 加工材の開先 2. 電 導 体
- 3. 絶縁体, d_1, d_2 開先面と電導体面間の検出すべき距離

図2 水中プラズマ溶接法

- 1. トーチ, 2. 陰極, 3. 陽極ノズル, 4. 作動ガス, 5. シャヘイガス噴射環状細隙, 6. 作動ガス入口, 7. シャヘイガス入口, 8. 9. 直流電源, 10. 11. スイッチ, 12. 加工材

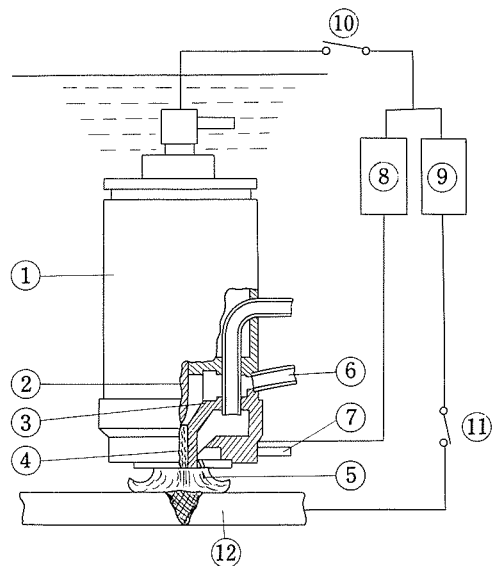
水中のプラズマ溶接法

特許出願公告 昭48-3742

公 告 日 昭和48年2月1日

この発明はプラズマアークを利用した金属加工材の水中溶接法にかかり、水中のプラズマアークを起動しやすくして、溶接を開始するときに加工材とプラズマトーチ間に安定したアークを発生させる方法を提供する。

水中溶接は海洋開発、なかでも海洋構造物の建設や海洋土木工事に利用され、研究開発が急速に進められている。図2に示すように、水中の加工材に面して水上の直流電源と結合したプラズマトーチを備えトーチ、電源および加工材の間に移送型または半移送型の回路をつくる。プラズマ溶接では、トーチ内の主アークの1部を加工材へ移送する必要があるが、水中においてはこれがむずかしい。しかし、ここでは溶接開始前のプラズマジェット起動の時に作動ガスを定常流より増加して流し、アークの点火後これを定常流へもどしてアークの起動を容易にし、これを安定に維持するようにした。この水中溶接法は水中で直接溶接加工を行なうが、溶接金属中の気孔の発生や溶接部のアンダーカットの発生を防ぐ。



研究成果の発表

国内の秋季学・協会発表（口頭）

学・協会名	発表期日	発表題目	担当研究部
電気化学協会	8.1	1. 高温中性水溶液中におけるジルコニウムおよびジルコニウム合金の分極挙動	腐食防食
材料学会	8.21	1. オーステナイト・ステンレス鋼SUS321B, 347Bの回転曲げ高温疲れ現象 2. 中炭素鋼の疲れ強さのばらつきについて	疲れ
原子力学会	9.25	1. V基二元合金の高温機械的性質	原子炉材料
日本非破壊検査協会	10.5-10.6	1. 超音波斜角探触子の指向性について 2. 電磁誘導探傷器の特性の測定について	材料強度
日本化学会	10.13	1. V-Lスペクトルのシフトとその規則性	金属化学
溶接学会	10.15-10.17	1. 突合せ溶接における角変形とルート割れについて 2. 溶接用 SH-CCT 図におよぼす母材熱処理の影響 3. 鋼の再現実溶接熱影響部に析出するパーライトについて 4. 溶込み・裏波ビードの探知方法について - 溶接制御用センサーの研究（第2報） 5. 静水圧下におけるプラズマ溶接 6. 溶射被膜の諸性質に及ぼす粉末粒度の影響 7. 横向き溶接における部分溶込み - 電子ビーム溶接方向と溶込み現象（第1報） 8. 横向き溶接における完全溶込み - 電子ビーム溶接方向と溶込み現象（第2報） 9. 直線的に変化する電子ビーム電流と溶込み形状 - 電子ビーム溶接の過渡状態における溶込み形状（第1報） 10. 圧入圧接法によるアルミニウムパイプと銅パイプの接合 11. ノンガスシールド・アーク溶接におけるビード形成現象 12. 溶着金属の気孔生成に関する研究（第3報） - 非アーク溶解時における Fe, Ni, Ti の気孔生成におよぼす窒素および水素の影響	溶接
日本機械学会	10.16-10.17	13. S M-58板材の疲れ強さに対する平均応力効果 1. 微視的酸化性を考慮した場合の鋼および鋳鉄の年間の常温におけるすべり摩耗の挙動について 2. SUH310鋼の高温低サイクル疲れ 3. SNCM 8 鋼の低サイクル疲れ 4. 切欠形状と疲れ亀裂伝播	疲れ 材料強度
日本鋳物協会	10.16-10.19	1. 鋳鋼品の鋳造方案設計への電子計算機の応用 2. ベントナイトの高温生成物と表面欠陥との関係について 3. 鋳物のチル生成に関する 2・3 の実験 4. 低合金鋳鋼の靱性に及ぼす珪素の影響	金属物理 製造冶金
錯塩化学討論会	10.17	1. 1-(2-チアゾリルアゾ)-2-ナフタレートカップ(II) パークロレート の結晶構造	金属化学
日本金属学会	10.19-10.21	1. Al中における遷移金属元素の固溶度 - Alの伝導電子とd電子との相互作用の観点から 2. Fe-Pt合金におけるマルテンサイト変態及びその逆変態 3. Nb-H状態図の問題点 4. 80Ni-20Cr-(Si)合金の各種ガス中での酸化 5. Grain Boundary Grooving法による α -Feの表面拡散係数の測定 6. 脆性鋼の破壊靱性におよぼす結晶粒度の影響 7. 非化学量論的CoTi相とFeTi相の高温硬さ 8. Mg-2.2wt%La合金の引張性質について 9. α 安定型金属元素を含む2元チタン合金の引張挙動 10. Cu-4%Ti合金の変調構造 11. Ni-10%Ti合金の板状および粉末状試料に現われるサイドバンドについて 12. Nb-M-H合金のM-H相互作用(II) 13. Nb-H合金の析出硬化 14. 高温高圧水中におけるZr-Nb-Ru合金の耐食性に及ぼす熱処理および加工の影響 15. 電気泳動によるモリブデンのニクロム被覆 16. 一方向凝固したMn-Sb共晶合金について 17. 市販SiCウィスカーの強度について 18. シリコンカーバイドと金属のぬれ 19. CdCr ₂ Se ₄ の固相-気相平衡(II) 20. V ₃ Ga超電導線材の研究(第9報) 21. R(Co _{0.6} Cu _{0.4}) ₅ の保磁力と結晶磁気異方性の温度変化 22. プラズマ溶射法によるフェライト膜の作製とその磁性	金属物理 金属化学 鉄鋼材料 非鉄金属材料 特殊材料 電気磁気材料

日本鉄鋼協会	10.19-10.21	23. V-Cr合金鑄塊の加工性におよぼすZrの影響	原子炉材料
		24. V-Cr, V-Fe合金鑄塊の加工性	"
		25. 化学蒸着法によるバナジウムのモリブデン被覆	"
		26. NaNO ₃ -AgNO ₃ 系の溶融塩のFriction Coefficient	"
		27. 17Crステンレス鋼板の集合組織について	製造冶金
		28. 遊星圧延機によるチタンの圧延	"
		29. Master Mix 法によるFe-P焼結合金の製造	"
		30. Fe-Mn合金の液圧処理効果	材料強度
		31. Fe-Mn合金の応力-ひずみ曲線に及ぼす静水圧の影響	"
		1. 酸化鉄の加圧水素還元	製 練
		2. 一方向凝固した20Ni-20Cr-20Co-4Mo鋼の凝固組織におよぼすC, B, P, V, Nb, NおよびTiの影響	"
		3. 流動層還元における粒度別還元率について	"
		4. 粗大な粒界析出を生成する処理をした18Cr-12Ni-Mo-P-Ti耐熱鋼	鉄鋼材料
		5. 粗大な粒界析出を生成する処理をした18Cr-12Ni鋼の常温引張特性	"
		6. 粗大な粒界析出のための中間保持中に圧延加工した18Cr-12Ni鋼の高温強さ	"
日本高圧力技術協会 高圧討論会 粉体および粉末冶金協会 金属表面技術協会 軽金属学会 電気化学会 日本物理学会 日本分析化学会	10.21 10.24 10.31 11.14 11.16 11.22 11.23-11.26	7. マルエージ鋼の時効組織と延性, 靱性	"
		8. 低合金超強力鋼の強靱性に及ぼす化学成分と焼もどし条件の影響	"
		9. 鉄合金におけるオーステナイトの強化とマルテンサイト変態	"
		10. 中炭素低合金鋼の不完全焼入組織の靱性に及ぼす合金元素の影響	製造冶金
		11. 中炭素低合金鋼のベイナイトの靱性に及ぼす炭化物の影響	"
		12. 金材技研式連続製鋼法のシュミレーション	工業化
		13. 酸素製鋼法の脱珪速度について	"
		14. 12Cr-Mo-W-V鋼の長時間クリープ破断性質のバラツキ	ク リ ー プ
		15. クリープデータからのリラクセーション曲線の予測(1Cr-0.5Mo-0.25V鋼のリラクセーション-III)	"
		16. 引張クリープ破断時間の予測について	"
		1. 高圧下におけるFe-Mn系合金の $\gamma \rightarrow \epsilon'$ 変態の進行について	鉄鋼材料
		1. 噴霧法による複合粉の製造について	製造冶金
		1. 高濃度硫酸浴中での鉄の陽極抵抗膜について	腐食防食
		1. アルミニウムの孔食成長過程について	"
		1. ガラス状Na ₂ SiO ₃ ・PbSiO ₃ 三元系の物性	製 錬
		1. 変形した銅中のセル境界の幾何学的構造	金属物理
		1. 2-(2-チアゾリルアゾ)-4,5,6-トリメチルフェノールとニッケルとの反応	金属化学
		2. 9-(2-ピリジリルアゾ-5-ニトロ)-10-フェナントールと銅, ニッケルおよび亜鉛との反応	"
		3. 2-(2-ベンゾオキサゾリルアゾ)-1-ナフトールによる二三の金属の抽出	"
		4. スパーク源質分析器による鉄鋼中の不純物の定量(塩粉末法)	"
		5. 真空融解法によるSi, Cr添加法を用いる金属中の酸素定量	"
		6. 14MeV中性子放射化一準内部標準法による高合金鋼中の珪素の定量	"
		7. 14MeV中性子放射化一外部標準法による亜鉛粉末中の酸素の定量	"

◆短 信◆

●海外出張

吉田 進 疲れ試験部長

クリープと高温疲れ国際会議、压力容器の国際会議に出席のため昭和48年9月21日から10月6日までアメリカ合衆国へ出張した。

吉原一紘 金属化学研究部研究員

金属間化合物の製造および構造解析の研究調査のため昭和48年9月21日から同49年9月27日までカナダ国立研究所(NRCC), アメリカ合衆国エイムス研究所へ出張した。

佐藤 彰 工業化研究部研究員

製鋼反応に関する研究のため昭和48年9月21日から同49年9月20日までアメリカ合衆国マサチューセッツ工科大学へ出張した。

高橋仙之助 特殊材料研究部特殊材料研究室長

スカイラプA計画の試料引取および会議打合せのため昭和48年9月29日から10月22日までアメリカ合衆国のハンズビル, ワシントンNASA本部, TRW研究所へ出張した。

受 賞

●日本金属学会論文賞(化学部門)

製錬研究部非鉄製錬第2研究室長亀谷博及び同研究部主任研究官山内睦文は、「A Fundamental Study on Vacuum Lift Refining of Molten Copper」により、昭和48年10月19日上記の賞を受けることとなった。

●日本金属学会論文賞(加工部門)

疲れ試験部長吉田進及び原子炉材料研究部原子炉材料研究室長永田徳雄は、「Deformation of Copper Single Crystals and Polycrystals at High Strain Rates」により、昭和48年10月19日上記の賞を受けることとなった。

通巻 第178号

発行所 科学技術庁金属材料技術研究所

編集兼発行人

林 弘

印

株式会社 ユニオンプリント

東京都大田区中央 8-30-2

電話 東京(03)753-6969(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)