

1989 No.6

金材技研

ニュース

科学技術庁

金属材料技術研究所

超電導と核融合／衝撃破壊の予防／微細粒複合硬質皮膜／ヒップで疲労強度回復／電子線の縞模様で変形を観測／宇宙飛行士に協力

核融合炉用超電導線材の開発

—— プラズマを磁場で閉じ込めるために ——

一昨年从去年にかけて、高温超電導フィーバーが世界中を駆け巡った。そして今年は、常温核融合で世界中が騒然となった。超電導と核融合。この二つは学術的には何の関係もない現象であるが、技術的には非常に密接な関係がある。

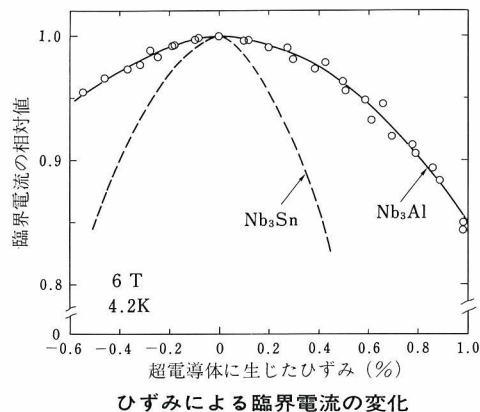
核融合とは、二つの原子核が融合して別の原子核に変わる現象で、この際に放出されるエネルギーを利用しようというのが核融合発電である。現在のところ、最も確実な核融合反応は1億℃以上の超高温で起こる熱核融合である。この熱核融合を実現させる一つの方法として、超高温のプラズマを磁場の作用で閉じ込める方式がある。この方式には、12T（テスラ）以上というような非常に強い磁場が必要で、銅線を巻いた通常の磁石では磁石に使われる電力のほうが、核融合炉で発生する電力よりも多くなってしまふ。そこで、消費電力が非常に少ない超電導線材を巻いて作った磁石が、どうしても必要になる。

当研究所では、先に実用超電導線材の Nb_3Sn （ニオブ3スズ）極細多芯線材よりも優れた高磁界特性を示す Nb_3Al （ニオブ3アルミニウム）極細多芯線材の製造に成功（金材技研ニュース、1988年、No.3参照）した。しかしながら核融合炉に使用するためには、臨界電流や臨界磁界が大きだけでなく、核融合炉という特殊な環境から受けるいろいろな影響に対しても強くなければならない。例え

ば、超電導磁石が発生した強力な磁場が逆に磁石に作用して超電導線材にひずみが生じ、その結果臨界電流が小さくなる現象などがある。

図は、 Nb_3Sn 極細多芯線材と Nb_3Al 極細多芯線材のひずみと臨界電流の関係を、ひずみゼロの場合の臨界電流に対する相対値で示したものである。当研究所が開発した Nb_3Al 極細多芯線材は、実用 Nb_3Sn 極細多芯線材よりもひずみに対して安定で、超電導フィラメントに割れなども生じにくい。

核融合炉の環境では、このほかにパルス磁界の使用や磁界の変動によるひずみの繰返しや交流損失、核融合反応で発生した中性子の照射による超電導特性の劣化などが生じる。現在こうした影響も調べており、 Nb_3Al 極細多芯線材の核融合炉用としての可能性を、総合的に検討している。



衝撃破壊を予測し未然に防ぐ

—— 球状黒鉛鋳鉄の破壊評価図を作成 ——

我々の周囲には、いろいろな構造物がある。これらの構造物が万が一破壊すると、大きな災害を生じかねない。一般に、構造物が破壊する際の直接の原因になる外力はゆっくりと加わる場合が多いが、危険物が入っている容器の輸送中の落下や衝突事故などのように、外力が衝撃的に加わる場合もある。材料に衝撃的な力が加わったときの破壊に対する抵抗値、すなわち衝撃破壊靱性の測定法としては、三点曲げ試験機を利用し、試験片の中央部に錘りを落下させて衝撃的に折る方法などが使われている。しかし試験機や試験片に特有な振動が加わるなど問題が多く、標準的試験法は確立されていないのが現状である。

当研究所では、衝撃破壊靱性をより正確に測定するために、錘りの落下で衝撃的に引張り力を加える落重式衝撃引張試験機を考案した。この試験機の概要は、図1に示したようにコンパクトテンション試験片と呼ばれる引張試験用の試験片を利用し、落下する錘りがストップに衝突する力で衝撃的に引張りを行うもので、き裂の伝播開始を超音波探触子で素早くキャッチできるようにしてあるのが、大きな特徴である。

この試験機で求めた球状黒鉛鋳鉄の衝撃破壊靱性は図2の白丸のごとくで、荷重をゆっくり加える静的破壊（黒丸）

の場合よりも全体的に高温側にずれている。これらの破壊靱性から切欠き先端部の応力の大きさを表すパラメータ K_{Id} （動的平面ひずみ破壊靱性）を計算し、この K_{Id} をその材料の降伏強度で割った値を求めると、材料が伸びながら破壊する延性破壊の温度領域ではこの値は温度に無

関係で、材料に固有な一定の値になることがわかった。 K_{Id} を降伏強度で割ったこの一定の値と材料に加わる衝撃荷重とから、どの程度のき裂が材料に存在していると破壊が起こるかを示す衝撃破壊評価図を作ったのが、図3である。ある球状黒鉛鋳鉄（縦軸の値が $7\text{ mm}^{1/2}$ ）の厚板に降伏強度と同程度の衝撃荷重が加わったとする。この場合、存在しているき裂の深さが10mm以下なら安全だがそれ以上だと破壊の危険があるということが、この図から直ちに推定できる。

引続き衝撃速度や材料の種類を変えた実験を行ってデータを蓄積し、衝撃に対する安全性評価法の確立を図ることにしている。

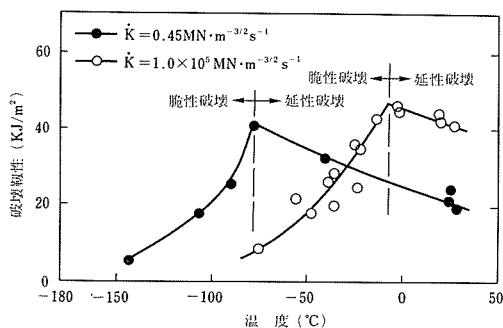


図2 球状黒鉛鋳鉄の破壊靱性
(K は変形速度の尺度で、●は静的荷重、○は衝撃荷重)

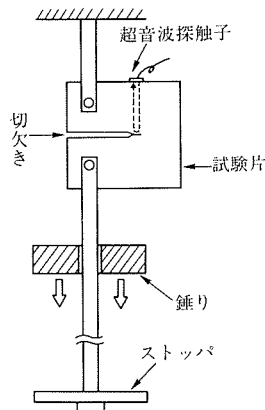


図1 落重式衝撃引張試験機

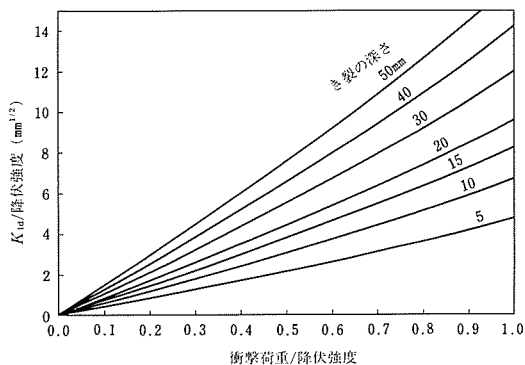


図3 球状黒鉛鋳鉄の衝撃破壊評価図

可能性を秘める超微細粒複合皮膜

当研究所では、アルミニウム、銅、または鉄と炭化チタンとからなる複合皮膜 (Al-TiC, Cu-TiC, またはFe-TiC) を、いろいろな鉄・非鉄合金上に作製するのに成功した。

これらの複合皮膜は、結晶粒がナノメートル (1 nmは100万分の1 mm) のオーダーで極めて細かく、下地金属との密着性もよい。また硬いTiC粒子を含んでいるので皮膜のビッカース硬さが1500程度と高く、耐摩耗性の皮膜として利用できる。更に、皮膜に含まれるアルミニウム

の良好な耐酸化性、銅の優れた電気伝導性・熱伝導性、あるいは鉄の磁性などの機能も併せ持った複合機能皮膜としての応用も考えられよう。

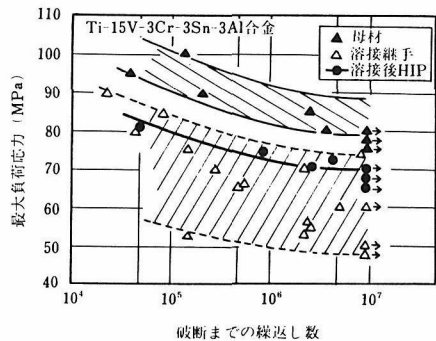
今回の複合皮膜も、先にステンレス鋼上に作製したニッケルを含む複合皮膜 (Ni-TiC) と同じように、当研究所が開発した2種類の金属の炭素に対する反応性の差を利用するイオンプレーティング法 (金材技研ニュース, 1988年, No.5 参照) で作った。引続き、この方法によって成分・組成・組織を変えた新しい系の複合皮膜の作製を試みるとともに、これらの複合皮膜の特性を調べて新用途の開拓を図っている。

チタン合金溶接部の疲労強度、HIPで回復

ある種のチタン合金、例えばTi-15V-3Cr-3Sn-3Al合金の溶接継手は、疲労強度が母材よりも著しく低い。これは、溶接部に生成した極く小さな気孔が疲労き裂発生の起点になるため (金材技研ニュース, 1988年, No.10参照) である。

当研究所では、このチタン合金の溶接部に高温で周囲から高圧を加えるHIP処理を施すと、気孔が押しつぶされて消滅し、疲労強度が母材の値に近いところまで回復して、そのばらつきもかなり小さくなることを見いだした。HIPは、

チタン合金溶接継手の信頼性を向上する手段として、非常に有効である。

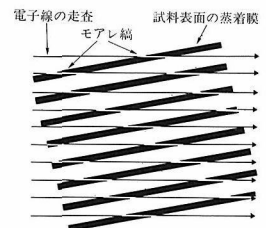


電子ビーム溶接継手の疲労強度
(HIP処理は815°C, 1000気圧, 3時間)

電子線モアレ法、微小変形の精密測定が可能に

当研究所は、微小変形を精度良く測定できる電子線モアレ法を開発した。モアレとは、レースのカーテンが二重になった部分などに現われる縞模様のこと。この現象を利用して変形を光学的に測定する方法は、従来からあった。

当研究所の方法は、半導体の回路パターンを作るのに使われているリソグラフィ法により、試料表面に試料とは二次電子の発生効率が異なる物質で一定間隔の平行線模様を作る。この試料に電子線を一定間隔の平行線模様で当てると、二次電子発生量の差によりモアレ縞ができる。変形した部分では、縞の間隔が変化する。変形の測定精度は、光学的方法よりも2桁ほど良い。



電子線によるモアレ縞(下)とその原理図

宇宙飛行士、当研究所で 材料実験技術を研修

我が国で最初の本格的な宇宙実験は、1991年7月に打上げられるスペースシャトルで行われることになっている。このディスカバリー号に搭乗が予定されている毛利 衛博士、向井千秋博士、および土井隆雄博士が、当研究所で材料実験技術を研修している。

3人の宇宙飛行士は4月20日～28日、および5月29日～6月9日の研修期間中に、浮遊帯域溶融法による結晶成長実験を中心に、半導体材料分野の共通の実験技術を修得することになっ

ている。宇宙船という限られた空間と時間の中で最大の研究成果を挙げるために、当研究所でのこの研修は重要な意味を持っている。



左から向井・土井・毛利の三宇宙飛行士

海外での研究発表（1989年1—6月）

（○印は発表者を示す）

第2回ASEAN科学技術週間：超電導セミナー（2月2日、フィリピン・マニラ）

1) Preparation and Properties of High-Tc Bi-Oxide Superconductors.

○前田 弘

核融合炉用高磁界超電導材料に関する第6回日米ワークショップ（2月21日～24日、アメリカ・ボルダー）

1) Strain Effects in Nb₃Al Multifilament Superconductors.

○和田 仁，黒田恒生，湯山道也，伊藤喜久男

2) VAMAS Proposed Round Robin Test on AC Loss Measurement in NbTi.

伊藤喜久男；○太刀川恭治（東海大）

3) Composite-Processed Multifilamentary Nb₃Al Superconducting Wires with Al-5at%Mg Alloy Cores.

飯嶋安男，小菅通雄，竹内孝夫，井上 廉；○鎌田罔尚（日立電線）；多田直文（日立製作所）；武藤芳雄（東北大）

TMS1989年大会（2月27日～3月3日、アメリカ・ラスベガス）

1) Preparation of Aluminum Rods with a Moldless Upward Continuous Casting Apparatus.

○佐藤 彰，大沢嘉昭，荒金吾郎

2) Preparation and Properties of Bi-Sr-Ca-Cu-O Superconductors.

○前田 弘，浅野稔久，熊倉浩明，関根 久，戸叶一正，田中吉秋；柳沢栄治（旭ガラス）；沼田幸一（三菱重工）

米国物理学会（3月19日～29日、アメリカ・セントルイス）

1) Intergrain Coupling in High-Tc Bi(Pb)-Sr-Ca-Cu-O Superconductors.

○戸叶一正，熊倉浩明，ダン・ディートリック，前田 弘

第7回材料破壊国際会議（3月20日～24日、アメリカ・ヒューストン）

1) Tensile and Fatigue Properties of SiC Whiskers and SiC Particulate Reinforced Aluminum

Composites.

○増田千利, 田中義久

2) Creep Damage Mode and Creep-Fatigue Interaction.

○八木晃一, 久保 清, 金丸 修, 田中千秋

3) Study for Mechanism of Fatigue Crack Propagation by Measuring Slip Amount at Crack Tip.

○升田博之, 松岡三郎, 西島 敏

AWS第70回大会 (4月2日~7日, アメリカ・ワシントン)

1) Reheat Cracking of ER320 and ER320LR Stainless Steel Overlayed Weld Metal.

○春日井孝昌, 中村治方; 鬼東義美, 高津玉男, 三五哲也 (日本ウエルディング・ロッド)

第6回高温に関する国際会議—無機物質の化学— (4月3日~7日, アメリカ・ガイタースバーグ)

1) Effects of Processing History and Contents of B and C on Hot Corrosion of Ni-Base Superalloy.

○富塚 功, 沼田英夫, 原田広史, 小泉 裕, 宮崎昭光, 山崎道夫

米国材料科学会春季大会 (4月26日, アメリカ・サンディエゴ)

1) Synthesis and Properties of Artificially Modulated Bi-Sr-Ca-Cu-Oxide Films.

○中村恵吉; 佐藤淳一 (日立); 貝瀬正次, 小川恵一

米国レーザ電子光学会 (4月27日, アメリカ・ボルチモア)

1) Formation of Superconductive by YAG-Laser Irradiating Laminated Thin Layers.

○和田 仁, 黒田恒生, 伊藤喜久男, 湯山道也; 森田充一, 村上雅人, 松田昭一 (新日鉄)

第12回プランゼ国際セミナー (5月8日~12日, オーストリア・ロイデ)

1) Preparation of Large-Scale and Multi-Layer Mo Crystal and Its Characteristics.

○藤井忠行

2) Effect of Dopants on the Secondary Grain Growth in Tungsten Sheet.

○藤井忠行, 平岡 裕

3) Welding and Joining of Single Crystals of BCC Refractory Metals.

○平岡 裕, 藤井忠行

4) Effect of Carbon Segregation and Precipitation on the Intergranular Fracture of Molybdenum.

○森藤文雄

5) Weldability of Electron Beam Welded PM-Mo-Re Alloys.

○森藤文雄

第2回高温腐食国際会議 (5月23日, フランス・レザンビエ)

1) Adherence of Al_2O_3 Coating Layer to Steels.

—Detrimental Effect of S and Beneficial Effect of REM and TiC—

○池田雄二, 土佐正弘, 吉原一紘, 新居和嘉

第19回カナダ破壊会議 (5月29日~30日, カナダ・オタワ)

1) An Examination of Constitutive Laws by High Temperature Creep of Engineering Materials.

○丸山公一 (東北大); 田中千秋; 及川 洪 (東北大)

溶射国際会議 (6月4日~9日, イギリス・ロンドン)

1) Superconducting Properties of Thermally Sprayed Y-Ba-Cu-Oxide Coatings.

○北原 繁, 吉田勇二, 福島 孟, 黒田聖治, 井上 廉, 前田 弘; 船木 稔 (日本鋳業)

2) Monitoring of Themally Sprayed Particles Using Thermal Radiation.

黒田聖治, 福島 孟, 北原 繁; ○藤森秀木, 富田 豊, 堀内敏夫 (慶応大)

【注目発明の選定】

当研究所から下記発明が、科学技術庁第48回の注目発明に選定された。

発 明 の 名 称	発 明 者	公 開 番 号
金属または合金とアルミナの複合材の製造法	新居 和嘉, 吉原 一紘 土佐 正弘, 池田 雄二	特開62-151556
SOxセンサー用固体電解質およびその製造法	中村 博昭, 宮代 寛	特開62-226851

【特許出願速報】

出願日	出願番号	発 明 の 名 称	出願日	出願番号	発 明 の 名 称
1. 3. 15	01-060730	希土類ガーネット単結晶の製造法	1. 3. 24	01-070556	Nb ₃ Sn超電導線材の製造法
1. 3. 17	01-063513	耐熱鋼	1. 3. 30	01-076839	固溶半導体レーザ用材料
1. 3. 20	01-068969	複合強化合金と金属繊維	1. 3. 30	01-076840	Ni基単結晶耐熱合金の拡散接合方法
1. 3. 22	01-067486	溶融金属への超音波振動の付加方法	1. 4. 5	01-084693	水素分離用合金膜

◆短 信◆

●受賞

日本金属学会第28回谷川・ハリス賞

科学研究官 新居和嘉
「表面偏析・析出の制御とその材料開発への応用」により、平成元年4月4日、上記の賞を受けた。

日本金属学会第47回功績賞

材料設計研究部 山崎道夫
「耐熱鋼、Ni基耐熱合金及びTi合金の設計と開発」
第1研究グループ 井上 廉
「金属系超電導材料 (Nb₃Al超極細多芯線)の開発」により、平成元年4月4日、上記の賞を受けた。

日本金属学会研究技術功労賞

管理部技術課 松村泰治
「多年にわたり卓越した技術により金属の研究に協力し、その進歩発展に大きく貢献した業績」により、平成元年4月4日、上記の賞を受けた。

日本鉄鋼協会西山記念賞

計測解析研究部 大河内春乃
「鉄鋼分析における基準分析法の確立と多元素同時定量法の開発」により、平成元年4月4日、上記の賞を受けた。

日本鉄鋼協会俵論文賞

環境性能研究部 田中秀雄
環境性能研究部 村田正治

●海外出張

氏 名	所 属	期 間	行 先	用 務
中村 恵吉	表面界面制御研究部	1.4.23~1.5. 1	アメリカ	米国材料学会春季大会
関根 久	第1研究グループ	1.4.23~1.5.11	アメリカ	米国材料学会春季大会
藤井 忠行	組織制御研究部	1.5. 6~1.5.14	オーストリア	第12回ブランゼ国際セミナー

通巻 第366号

平成元年6月発行

発 行 所 科学技術庁金属材料技術研究所

〒153 東京都目黒区中目黒2-3-12

TEL (03)719-2271, FAX (03)792-3337

編集兼発行人 漆 原 英 二

印 刷 株式会社 三 興 印 刷