

1989 No. 9

金材技研

ニュース

科学技術庁

金属材料技術研究所

すべり面を原子レベルで見る／溶接継手の新
疲労試験法／プラズマが炉壁に当たると／レ
ーザ光を材料に当てると／Ti合金の分析法

破面の観察を原子レベルで

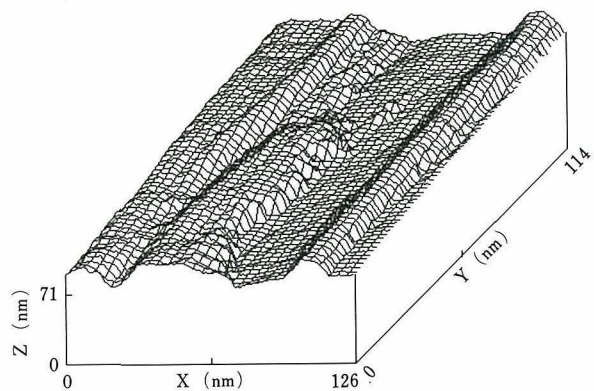
—— 新手法で破壊機構の解明に挑戦 ——

真空、空気、水、液体ヘリウムなどの絶縁体の薄い層を間にはさんだ2つの導体の間に電圧を加えると、絶縁体を飛び越えて電気が流れる。これをトンネル電流という。この原理を利用した最新の装置が、走査型トンネル顕微鏡(STM)である。試料を一方の導体とし、他方の導体とした鋭い探針を試料表面から100万分の1mm(約4原子の並び)ほど浮かせる。この探針と試料との間に十数mV程度の極く低い一定の電圧を加え、トンネル電流が一定に保たれるように探針を上下させながら縦横に走査すると、その上下位置の変動は、試料表面の原子レベルの凹凸に正確に対応している。

金属の破壊機構の解明に取り組んでいる当研究所は、金属の破壊の過程で生じる試料表面の非常に細かい凹凸を観察する手法として、この走査型トンネル顕微鏡が有望であることを明らかにした。図は、クロムの脆性破面を走査型トンネル顕微鏡で調べて、画像処理により鳥瞰図として示したものである。X方向とY方向の走査距離は約500個のクロム原子の並びに相当しており、通常の走査型電子顕微鏡を用いた場合に比べて、ほぼ2桁も高い倍率で観察できる。この図から、脆性破面にはクロム原子約100個の並びに相当する段差が生じていることがわかる。グラファイトやシリコンなどでは更に高い

倍率で原子レベルの凹凸を観察できるが、表面が汚れやすいクロム、鉄、アルミニウム、チタンなどの実用金属でも、転位の動きに対応する破面の凹凸をこのようにはっきり捉えており、破壊の本質に迫る有力な手段として走査型トンネル顕微鏡を利用できることが確認された。

一方、探針を固定し、加える電圧とトンネル電流の関係を調べると、試料表面の物質の分析も可能である。破壊の過程で新しく露出したすべり面は、周囲の空気や水と反応して直ちに酸化する。この現象も金属の破壊においては重要であるので、走査型トンネル顕微鏡で試料表面の分析を行うことも検討している。これらの新手法により、破壊機構解明の研究が進展することが期待される。



クロムの脆性破面 (1nmは100万分の1mm)

残留応力の作用を織込んだ疲労試験法を開発

—— 溶接構造物の設計思想を忠実に反映 ——

橋梁や鉄塔などの大型の構造物は、鋼材を溶接して製作される。これらの構造物は使用中に変動する荷重を繰返し受けるので、溶接部に疲労き裂が発生し、このき裂が次第に大きくなって破壊事故に至ることがある。そこで、破壊事故を未然に防ぐためには、溶接継手の疲労特性を正しく把握して構造物の設計を行わなければならない。

溶接継手の疲労特性の測定に従来から使われている試験法では、図1の(a)で示したように、最小値がゼロで最大値をいろいろ変えた繰返し荷重を試験片に加えて、破断までの繰返し数を調べている。この試験には通常幅50mm程度の小型試験片が使われるが、このような小型の試験片では溶接による残留応力はほぼ解放されているので、測定中の試験片には残留応力も負荷応力もない応力ゼロの状態が繰返し現れる。ところが、実際に構造物として組立てられた溶接継手にはほとんどの場合材料の降伏強度程度の引張残留応力が存在しているので、降伏強度に等しい残留応力が存在するという前提に立って溶接構造物を設計する必要がある。このため、従来の試験方式で求めた疲労特性(図2の破線)に残留応力の作用を考慮した補正を加えた曲線(図2の鎖線)を計算で求めて、これを溶接構造物の設計に使用していた。

このような計算で残留応力の作用を補正する従来の方式に代って、当研究所は残留応力の作用を織込んだ新しい疲労試験法を考案した。この新しい試験法では、図1の(b)で示したように最大試験荷重を材料の降伏強度に保ち、最小荷重を変えて疲労特性を調べるので、溶接の残留応力が存在しない小型試験片でも、応力ゼロの状態が現れることがない。小型試験片を使用し、この新しい試験法で測定した結果は図2の□印であるが、実際の溶接構造物に近い残留応力が存在するスリット溶接付大型試験片を用いて従来の方式で測定した結果(図2の実線)とよく一致している。

図2からわかるように、残留応力の作用を計算で補正した曲線は、残留応力がある場合の実際の疲労特性よりもかなり下にある。この曲線を使って溶接構造物の設計を行っても安全面からは問題はないが、製造コストの上昇などを招く。一方、新材料の開発や溶接法の改善などによる疲労強度の向上を正しく評価することも重要である。こうした意味から、計算による不正確な補正や試験の実施が困難な大型試験片を必要とする従来の方式に代って、小型試験片を使用して残留応力の作用を織込んだ疲労特性を直接正確に測定できる疲労試験法を開発した意義は大きい。

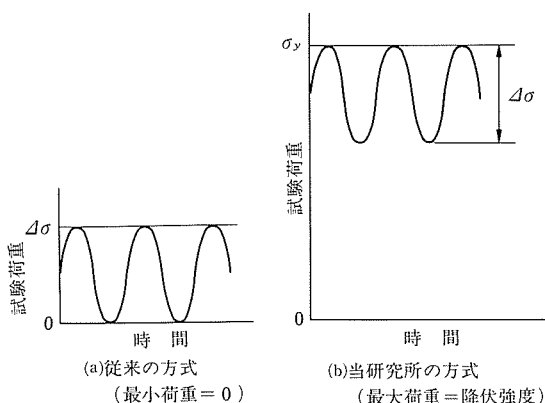


図1 溶接継手の疲労試験における荷重負荷方式

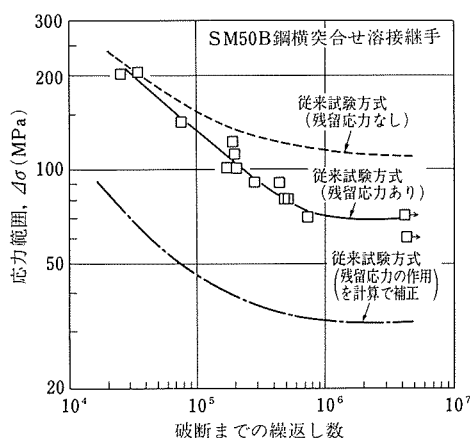
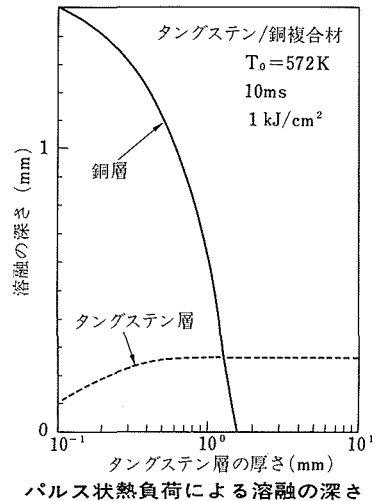


図2 溶接継手の疲労強度特性測定結果の比較
(□印は残留応力の作用を織込んだ当研究所の方式)

高温粒子による複合材料溶融のシミュレーション

トカマク型の核融合炉では、超高温のプラズマをドーナツ形に閉込める。この閉込めが何らかの理由で不具合になると大量のプラズマが炉壁に衝突し、材料の溶融等の損傷が生じる。当研究所では、コンピュータを使ってこの際の材料挙動を調べている。

一例として、銅の上にタングステンを張合わせた複合材を瞬間的に加熱したときの、溶融の深さを示す。表面のタングステン層を薄くすると下地の銅層の溶融が起こるが、タングステン層の溶融深さは逆に浅くなる。この例のように、実験で確認するのが困難な詳細で広範囲なパラメータのサーベイが、コンピュータ・シミュレーションによってはじめて可能になった。



レーザ照射で発生する超音波のシミュレーション

超音波は、材料内部の欠陥を調べる有力な手段であるが、高温や強い放射能などで超音波探触子を材料に接触させるのが困難な場合がある。その場合の対策として、当研究所はレーザ光を利用して非接触的に超音波を発生・検出する方法を研究している。その超音波発生法は、パルスのレーザ光を照射して材料の表面を急加熱するという技術的には単純なものであるが、これを材料評価に使用するには、発生する超音波の波形やその伝わり方を詳しく知る必要がある。

そこで、当研究所ではレーザ光で発生する超音波の様子を、コンピュータ・シミュレーションにより調べている。この計算では、弾性波伝ば方程式にレーザ加熱による熱応力や表面の蒸発圧力の効果を組合せており、実験で得られる超音波の波形を良好に再現するのみでなく、固体中の縦波、横波、および表面波の様子など、材料欠陥の非接触評価法としての確立に必要な超音波発生条件を容易に知ることができる。

引続き、実際の現象を再現する能力のいっそうの向上や表面構造が複雑な材料への適用に向けての改良を進めている。

チタン合金の分析、少量の切削片でも可能に

新合金の開発過程では、しばしば少量の粉体や切削片などを分析する必要がある。しかも、その成分や含有量が大幅に変化している場合が多い。チタン合金の開発を進めている当研究所では、こうした事態に備えて正確で迅速なチタン合金の蛍光X線分析法を確立した。

粉体や切削片を蛍光X線で分析する場合には、試料を酸で溶解した後融解剤と一緒に溶融してガラスビードと称するボタン状のガラスにする。チタン合金の場合には試料中の合金成分を損失

なく含む均一なガラスビードを作るのが困難であったが、ホウ酸ナトリウムに少量の酸化ゲルマニウムを加えた融解剤を使用することなどにより、この問題を解決した。

更に、測定で得られたデータはファンダメンタルパラメータ法（基本的な物理定数等から補正値を理論的に計算する方法）のソフトを用いてパソコンで処理するようにした。その結果、合金の組成が大幅に変化していても、1個だけの標準試料を用意するだけで、250mg程度の少量の試料中の合金成分（Al, V, Cr, Fe, Zn, Mo, Sn）を精度よく容易に分析できるようになった。

平成元年度金属材料技術研究所研究発表会の御案内

金属材料技術研究所では、研究活動をより広く御理解していただくために、毎年研究発表会を開催しております。本年度は、「未来技術を支える新構造材料」を主題として、新しい視点より研究しております各種の重要な構造材料に関する研究成果を、下記の題目について発表いたします。皆様方の御来聴をいただきたく、御案内申し上げます。(聴講自由)

日時：平成元年11月9日(木) 13:15～17:00

会場：金属材料技術研究所 大会議室 東京都目黒区中目黒2-3-12 電話 03-719-2271代

(東急東横線・地下鉄日比谷線 中目黒駅下車徒歩10分, JR 山手線 恵比寿駅下車徒歩15分)
(東急バス(渋谷↔大井町④系統) 東京共済病院前下車徒歩3分)

❖ プ ロ グ ラ ム ❖

13:15～13:25 あいさつ

所 長 新 居 和 嘉

＝ 未来技術を支える新構造材料 ＝

13:25～15:30 (座長 損傷機構研究部長 西 島 敏)

1. 高比強度強靱材料の現状と展望

力学特性研究部長 河 部 義 邦

航空・宇宙や海洋開発など先端科学技術の分野では、軽くて強い、すなわち比強度の高い構造材料が要望されている。高比強度強靱材料の諸性質や特徴を概観し、近年最も重要視されているチタン合金について、各種材料中における位置付けを明確にする。

チタン合金の力学特性は組織によって大きく異なる特徴があり、一方、組織はプロセス依存度が大きい。そのため、特性と諸因子との関係は、一見相反する結果が得られている。本報告は、これらの結果を整理し、組織制御の視点から強靱性向上の可能性と限界について展望する。

2. 極低温における材料の変形と破壊 ―クライオメカニックスの基盤技術―

第1研究グループ第6サブグループリーダー 石 川 圭 介

超電導技術を確かなものにするためには、液体ヘリウム温度において、信頼して使用できる構造材料が必要になる。液体ヘリウム温度域は絶対零度に近く本質的な材料特性が顕著になる。極低温機器の用途は多様であり、従来問題視されない材料特性も用途によっては重要な問題になる。さらに、統一した材料評価法も確立していない。

本報告では、材料の機械的性質の中心的課題である、変形と破壊の研究成果を紹介し、極低温技術の基幹分野の一つであるクライオメカニックスにおける新材料の開発を展望するとともに、今後の課題についても述べる。

3. 表面析出現象を利用した新構造材料の開発

表面界面制御研究部第1研究室長 吉 原 一 紘

近年、金属材料の使用環境は、ますます過酷なものになっており、使用環境に真っ先にさらされる表面を自由に制御し、望ましいものに改質することは、今後、新しい構造材料を開発する上に不可欠なことである。当研究所では、ある処理をした合金を真空中で加熱すると、合金表面に炭化物や窒化物が析出することを見いだしている。

ここでは、このような表面析出現象の基本的原理を解説するとともに、この現象を利用した新構造材料の開発状況について述べる。

15：30～15：40 休 憩

15：40～17：00 (座長 第2研究グループ総合研究官 白石 春 樹)

4．化合物材料の力学特性

力学特性研究部第3研究室長 中 村 森 彦

化合物材料には金属同士を構成元素とする金属性金属間化合物から、金属元素と非金属元素から成る金属化合物まで数多くの種類があり、高硬度や高温強度が期待できるものも多い。これらのうちから当研究所で研究されているアルミニウム化合物、シリコン化合物の弾性特性、強度、変形など構造材料としての基本的力学特性、および高硬度で脆性な化合物である炭化ケイ素、窒化ケイ素焼結体における疲労破壊挙動について報告する。

5．低放射化構造材料

第2研究グループ第3サブグループリーダー 野 田 哲 二

原子力用の構造材料は、照射、高温、腐食等厳しい環境に耐えることが要求される。さらに、核融合炉のような高エネルギー中性子照射環境では、はじき出し損傷に加えて核変換による放射化の低い材料の開発が望まれている。

本報告では、低放射化材料の設計とそれに基づいて作製された鉄系合金、より低放射化が期待されるSiC系複合材料の開発研究の状況を紹介する。

10月の研究発表（国内分）

学・協会名	開催期間	発 表 題 目	発表者（所属）
日本分析化学会 (仙台：宮城教育大)	10.3～10.5	1. 溶液試料を用いたグロー放電質量分析 2. 水素化物発生ICP-AESによるMo中の水素化物生成元素の定量 3. 斜入射蛍光X線分析法による表面近傍の化学状態分析	斎藤守正(計測) 鯨井 脩(計測)ほか 桜井健次(計測)ほか
日本物理学会 (鹿児島：鹿児島大)	10.3～10.6	1. 超伝導アモルファスCr-BN膜の磁性と電気伝導II 2. 化合物半導体中での原子空孔による格子緩和 3. ZnSe: Liの原子配置 4. Nd _{2-x} Ce _x CuO ₄ 単結晶の物性 5. La ₂ CaCu ₂ O ₆ 系の電子状態 6. 酸化物超伝導体Ba ₂ Cu ₃ O _{y(y-8)} の圧力効果 7. YBa(Cu _{1-x} Fe _x) ₃ O _y のメスバウワー分光と磁化測定 8. 鉄コロイド超微粒子のメスバウワー効果II 9. Tb-Fe垂直磁化膜の磁化の緩和現象III 10. 高温超伝導体におけるフラックスの侵入速度：長時間緩和	青木晴善(物性)ほか 小口多美夫(物性)ほか 佐々木泰造(物性)ほか 宇治進也(物性)ほか 下田正彦(物性)ほか 山田 裕(物性)ほか 古林孝夫(機能)ほか 古林孝夫(機能)ほか 上原 満(表面) 上原 満(表面)
表面技術協会	10.5～10.7	1. TiAl金属間化合物の高温酸化挙動と耐酸化性	武井 厚(第3)ほか

学・協会名	開催期間	発 表 題 目	発 表 者 (所属)
(字部：山口大)		表面処理	
日本 鑄 物 協 会	10.6～10.9	1. 遠心鑄造した過共晶Al-Si合金の組織と特性	生井 亨(組織)ほか
(札幌：北海道大)			
画像解析による材料評価 部会報告会シンポジウム (東京：新丸ビル)	10.13	1. 粒界画像の中の欠陥の自動修復	武内朋之(第5)
日 本 機 械 学 会	10.14～10.15	1. クリープき裂伝播速度に及ぼす試験片寸法効果の大型CT試験片による実験的検討	田淵正明(環境)ほか
(神戸：神戸大)		2. 高温疲労き裂伝ば特性に及ぼす荷重波形の影響	竹内悦男(環境)ほか
日本塑性加工学会	10.16～10.18	1. Ti-Al金属間化合物の材料特性と加工プロセス	信木 稔(第3)
(愛媛：新居浜高専)			
X線分析討論会	10.18～10.20	1. X線分光分析法による酸化膜の組成と厚さの同時分析	大野勝美(設計)ほか
(東京：明治大)			

〔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. 5. 25	01-130038	超電導材料の製造方法 (新日本製鐵㈱との共同出願)	1. 5. 25	01-130039	超電導材料の製造方法 (新日本製鐵㈱との共同出願)

◆短 信◆

●人事異動

平成元年 7月31日

辞 職 松田 秀勝(会計課長)

平成元年 8月1日

配 置 換 会計課長 秋山 武久(国立防災科学技術センター管理部会計課長)

●海外出張

氏 名	所 属	期 間	行 先	用 務
池田 雄二	表面界面制御研究部	1.5.20～1.6.1	フランス	第2回高温腐食国際シンポジウム
黒沢勝登志	環境性能研究部	1.5.22～1.6.21	タイ	タイ大気腐食(有機被覆)研究プロジェクトの共同研究
永井 秀雄	環境性能研究部	1.6.19～3.6.18	タイ	日・アセアン科学技術協力(派遣)
大塚 秀幸	機能特性研究部	1.7.1～1.7.13	オーストラリア	マルテンサイト変態に関する国際研究集会
伊藤喜久男	第1研究グループ	1.7.22～1.8.6	アメリカ	極低温材料国際会議
前田 弘	第1研究グループ	1.7.23～1.8.2	アメリカ	極低温材料国際会議
緒形 俊夫	第1研究グループ	1.7.23～1.8.5	アメリカ	極低温材料国際会議
桜井 健次	力学特性研究部	1.7.30～1.8.11	アメリカ	第38回デンプーX線会議
松岡 三郎	環境性能研究部	1.8.1～1.8.30	アメリカ	金属疲労などの破壊メカニズムの解明に関する研究

通巻 第369号

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

平成元年 9月発行

編集兼発行人

漆 原 英 二

印

株式会社 三 興 印 刷