

金材技研

1983

科学技術庁

NO. 9

ニュース

金属材料技術研究所

核融合炉用超高温材料

—セラミックコーティング材からセラミックス—金属複合材料の研究へ—

核融合炉の研究は、3大トカマク装置であるJT-60（日本）、JET（EC）、TFTR（米国）の建設が進み、数年内に核融合条件をつくりだすことができる段階にある。プラズマ状態になっている原子集団に核融合反応を起こさせるには、プラズマ閉じ込めと加熱などのプラズマ制御が最も重要な課題である。

第一壁表面材料は、この成否に直接的な影響をもっている。すなわちプラズマにさらされるライナー、リミターなどの材料は、プラズマからの熱や粒子束を受けて損耗し、材料表面から原子がプラズマに混入すると、放射損失によってプラズマ温度が下がり反応が停止してしまう。この現象は材料表面に軽元素のセラミックスをコーティングすることで著しく抑制できる。

このようなわけで、各国でコーティング材の研究が進められている。その結果、JT-60ではMo基板にTiCを、またTFTRでは黒鉛基板にTiCを、各々厚さ20 μ m程度にコーティングした材料が選択されている。第一壁材料は1800Kを超える超高温まで、パルスのまたは周期的な過酷な加熱モードにさらされる。当研究所においても、これまで各種の蒸着方法を適用して、TiCコーティング材を中心にその耐熱性、耐表面照射性について研究を行い、2層コーティング、複合化合物コーティングなど新しい材料や技術を提案してきた。

さて、現在トカマク炉の研究はより大型の工学的設計の段階に達している。重水素（D）—3重水素（T）燃焼に伴って、第一壁材料には、中性子照射損傷、誘導放射能、Tの滞留・透過などの新たな問題が課せられている。なかでも、表面材料にとってとりわけ厳しい問題は、実験炉ではプラズマから受ける熱や粒子量が大いいためにJT-60等の場合に比べ、表面損耗量ははるかに大きいと推定されることである。

当研究所では、次段階の材料研究として、このような環境下で寿命の長いセラミックス—金属複合材料の開発を行う予定である。コーティング材に適用してきた蒸着技術は損耗した表面の補修技術の研究として進める。実験炉以降の第一壁表面材料については、種々のプラズマ設計に対応した広い超高温材料が今後必要となる。Mo、Wなどの高融点金属、更にセラミックス単体などが注目されるが、信頼できるセラミックス—金属複合材料の開発が目下最も重要とみなされている。

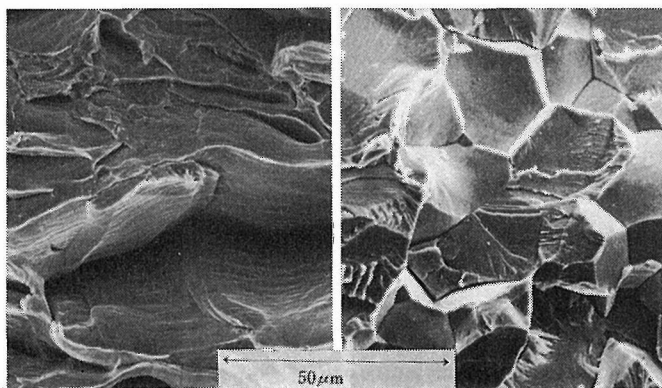
当研究所ではこのような開発材料の特性評価として、耐熱性、耐照射性の他に水素の吸脱着特性を研究する。またTEXTOR 実験（プラズマと第一壁の相互作用の研究のための国際協力実験、トカマク装置は西独にある）への参加等、トカマク実機による第一壁の研究を深めるためにも、内外の研究機関と協力して研究を進める計画である。

耐熱セラミックス被覆材の性能試験

—— 核融合炉第一壁表面材料の研究へ応用 ——

核融合炉のリミター・ライナーなど第一壁表面材料として使われる炭化チタン (TiC) 被覆モリブデン (Mo) は、炉運転中に熱応力・電磁力などに起因する変形を生ずる。基材のMo 自身は室温以下まで延性を保つので、この変形に充分耐えられるが、TiCを表面被覆した場合は、皮膜がMo 基材の機械的特性を変化させ、ひいては予期せぬ Mo の脆化を引き起こす可能性がある。このTiC被覆Moの機械的性質の評価及び皮膜の剥離性・密着強度など実用上重要な特性評価を引張試験によって行った。

引張試験の結果、被覆したTiC皮膜自身の特性が異なる場合には、Mo 基材の機械的特性に及ぼす影響が違ってくることがわかった。すなわち、TiCの被覆は変形初期にMo 基材を軟化させる場合と硬化させる場合の両面をもっている。軟化効果はTiC皮膜の持つ強い圧縮内部応力などと関係があり、硬化は皮膜の破断強度と関係があると考えられる。実用上の問題となるMo 基材の延性低下については、TiC被覆はMo 基材の破断伸びをあまり減少させないが破断面の絞り率を減少させる。そして破断様式は変形を伴った粒界割れから変形をあまり伴わない粒内割れ (劈開) へと変化する (写真)。その効果は密着性の良いTiC被覆に顕著である。これはTiC皮膜がMo 基材の著しい変形を拘束するため、またはTiC皮膜の割れがMo 基材に対して切り欠き効果を持つためと考えられる。



(a) 非被覆材 (b) TiC 被覆材
写真 TiC 被覆によるMo 基材の破断様式の変化

一方、近年特に問題とされている、被覆材における皮膜の密着強度は引張試験によってかなり明らかにされる。引張試験の際、Mo 基材の変形につれて、ほとんど塑性変形しないTiC皮膜には多数の割れが入り、変形量の増加とともに皮膜の一部は剥離を始める。皮膜の割れ・剥離に伴い発生する音波 (アコースティック・エミッション) の計測、割れ・剥離の顕微鏡観察、及び応力・歪曲線から、一定の仮定のもとに、被覆材の皮膜—基材界面に働く剪断応力を推定できる。図にこのようにして評価したTiC皮膜—Mo 基材界面に働く剪断応力の温度依存性を示す。剪断応力は温度の上昇とともに低下し、これに伴ってTiC皮膜は室温以上ではほとんど剥離しなくなる。この方法により評価したところ、マグネトロン・スパッタ法でMoに被覆したTiC皮膜の密着強度は350~400 MPa (35~40kgf/mm²) 程度になる。

皮膜の破断強度が高くなると、界面に働く剪断応力が大きくなることも測定結果からわかる。したがって、皮膜の耐剥離性の向上には、皮膜の破断強度を低下させるか、適当な強度の中間層を皮膜・基材界面に挿入すれば良いと推察される。事実、化学量論組成よりTiを過剰に含むTiC皮膜は、強度が低く、したがって界面での剪断応力が小さくなり、Mo基材変形時の剥離が著しく小さくなることが見い出されている。

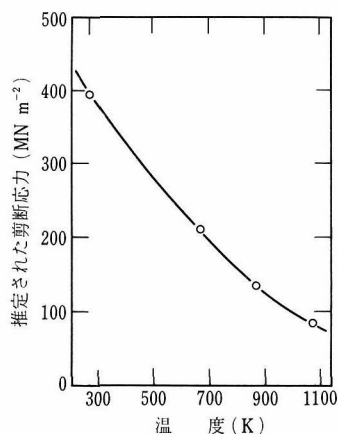


図 推定されたTiC皮膜—Mo 基材界面での剪断応力

セラミックス超微粒子の新製造法

近年、機能性材料としてのセラミックスはエレクトロニクス、光学、高性能機械材料などの分野でその需要が増大している。セラミックス素材に共通して要求されることは“セラミックスの超微粒子化”である。

当研究所では、水素アークプラズマの活性状態を利用し、酸化物、炭化物などのセラミックスの超微粒子化に成功した。この方法は、水素を含む雰囲気中で発生したアークフレームにより、セラミックス原料 (Al_2O_3 , MgO , ZrO_2 , CaO , TiO_2 等) を加熱するもので、この反応過程でセラミックスが燃焼するかのように煙状となり、超微粒子化 ($0.1\mu\text{m}$ 以下) される。

これらセラミックスの超微粒子化現象は、先に当研究所で開発した“金属の超微粒子化”と類似しており、同一原理で説明される。

(機能材料研究部)

セラミックス粒子分散強化型超合金に用いる Cr-Al-Ti-Ta 系母合金粉を機械的粉碎でつくる

ジェットエンジンや発電タービンなどの耐熱材料として期待されているセラミックス粒子分散強化型超合金は機械的合金化法による複合粉を原料として製造される。その複合粉をつくる場合、Ni 粉に Cr 粉、微量のセラミック粉及び合金元素としての Ti, Al, W, Mo, Ta の組合せからなる数種類の母合金粉を配合し、高エネルギーボールミルで粉碎、混練する方法が一般に行われているが、この合金化には長時間を必要とする。合金化時間を短縮する方法としては、配合粉の種類を少なくすることが有効である。

当研究所では、この目的のため配合粉を Ni 基母合金粉 (Ni-W-

Mo 系), Cr 基母合金粉 (Cr-Al-Ti-Ta 系) 及びセラミック粉の 3 種とした。Ni 基母合金粉は水噴霧法で、Cr 基母合金粉は低酸素濃度とするため機械的粉碎法で製造する。特に後者について製造条件を検討した結果、Cr 60~70 重量%の母合金が最も優れた粉碎性を示した。この組成範囲にある Cr 基母合金粉に、これに対応する Ni 基母合金粉を配合すると、たとえば超合金 MA 6000 などが得られる。現在、この配合粉の機械的合金化条件を検討している。

(金属加工研究部)

マイコンによる浸炭焼入材の強度計算

鋼の表面硬化法としての浸炭焼入処理は、表面硬さを高めるとともに表面硬化層に圧縮残留応力を発生させ、鋼の高サイクル疲労強度及び耐摩耗性を向上させるので、機械部品に広く利用されている。しかし、機械的性質の中で特に延性が著しく低下するところから、問題になる場合もある。

そこで当研究所では、浸炭焼入鋼の引張強さ及び曲げに及ぼす浸炭焼入条件、すなわち浸炭時間や焼入速度などの影響を調べた。その結果、浸炭焼入鋼の引張り及び曲げ挙動をマイコンによって数分で解析できる簡易型弾塑性プログラムを開発することができ、実験結果との対応を確認した。また浸炭焼入鋼の応力-歪曲線の接線係数と歪の関係を表す曲線上に現われる「こぶ」が表面硬化層と心部の降伏によるものであることも見出した。

将来は、実験データの蓄積と解析の精密化によって、合理的な浸炭焼入条件の決定法を研究していきたい。

(疲れ試験部)

超音波を利用して鋼の破壊じん性の測定法を確立

船舶、橋梁など多くの鋼構造物は、強度が $50\sim 80\text{kgf/mm}^2$ 級の高じん性鋼を用い、溶接によって作

られることが多い。これらの構造物の安全性を確保するためには、欠陥を含む構造物の破壊特性を充分知る必要がある。高じん性材料の破壊特性としては、鋭い切欠き (疲労き裂) の先端から、き裂が進展し始める点から求められる破壊抵抗のパラメーター J_{IC} が多く使われる。この J_{IC} は多数の試験片を用いて測定するのが標準的な方法とされている。

当研究所では、超音波を用いて切欠き先端からのき裂進展を検出し、少ない試験片で精度よく J_{IC} を測定する方法を検討してきた。その結果、切欠き先端近くを通過する超音波の強さ変化及び斜めに入射した超音波の反射の強さ変化を測定して精度よく J_{IC} を求める新しい方法を確立した。この方法は、試験片中央部においてき裂が進展を開始する瞬間を明確にとらえることができるという、今までにない特徴をもち、これにより数少ない試験片で J_{IC} を測定することが可能となった。

(材料強さ研究部)

ステンレス鋼の応力腐食簡易な推定法を確立

高温高压反応器のような機器に用いられるステンレス鋼の応力腐食割れ (SCC) の対策及び検査技術の確立は重要な課題である。

石油精製工業などで原油に含まれる硫黄の不完全酸化によりポリチオン酸が生成しかつ、高温使用に伴うステンレス鋼の鋭敏化が重なり合ったときに SCC が発生する。

当研究所では種々のポリチオン酸のうちテトラチオン酸が SCC 誘発の主因であることを見出し、テトラチオン酸カリウム溶液をイオン交換により K^+ と H^+ を置換した溶液中でこの種の SCC が再現できることを見出した。この溶液はポリチオン酸による SCC の推定だけでなく、含 Cr 鋼全般の鋭敏化及び耐粒界腐食の評価にも利用できる。

(腐食防食研究部)

昭和58年度金属材料技術研究所研究発表会

金属材料技術研究所では、毎年研究発表会を開催しております。本年度は、コンピュータを利用した新しい研究手法と機能材料に関する研究成果を中心に、下記の題目について発表いたします。関係各位の多数のご来聴を得たく、御案内申し上げます。（聴講自由）

日 時：昭和58年11月8日（火） 13：30～17：10

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））

（東横線・地下鉄日比谷線 中目黒駅下車徒歩10分）

≡ プ ロ グ ラ ム ≡

13：30～13：40 あいさつ

所長 中 川 龍 一

13：40～15：00

（座長 溶接研究部長 中 村 治 方）

1. コンピュータ画像処理による金属材料組織のキャラクタリゼーション

金属物理研究部 主任研究官 深 町 正 利

コンピュータによる画像処理について概説し、さらにパワースペクトル解析による画像特徴の抽出、電子線回折パターンの自動解析など電子顕微鏡組織解析の自動化を目的とした主要な研究成果を報告する。

2. 対話形式による溶接熱伝導シミュレータの開発

溶接研究部 第2研究室長 岡 田 明

初期条件や境界条件の設定が複雑な各種構造物を、アーク溶接する時の熔融・凝固及びその後の冷却に関するシミュレーションと、当研究所で作成した約200鋼種の溶接用連続冷却変態図のデータ・ベースとを組合せて適正溶接条件を決定する方法を報告する。

15：00～15：10 休 憩

15：10～17：10

（座長 機能材料研究部長 渡 辺 亮 治）

3. 金属の超微粒子化技術の現状と新技術への模索

機能材料研究部 第5研究室長 宇 田 雅 広

超微粒子に特有な物理的・化学的な特性を利用した、機能性材料の開発研究が盛んになりつつある。本講演では、我が国における超微粒子化技術とその応用の現状を概観し、当研究所で開発した金属及びセラミックスの超微粒子化技術について紹介する。

4. 最近の熱電材料と熱発電素子の製造

機能材料研究部 主任研究官 西 田 勲 夫

高効率熱電材料と経済的な熱電材料の熱電性能、及び利用法について概説する。特に後者の材料として、FeSi₂を取り上げ安価な製造法及び特徴を、またこの熱発電素子の応用例として、電気コード不要の温風暖房機の試作品について述べる。

5. 波長可変赤外域半導体レーザー用材料

金属物理研究部 部長 増 本 剛

波長3～4 μmで波長可変になる半導体レーザーの研究の現状を概観し、このレーザー用材料として有望な鉛カルコゲナイド及びカルコゲンクロマイト化合物半導体に関し、発振波長の組成及び温度依存性等について得られた研究成果を紹介するとともに今後の計画について述べる。

◆短 信

●海外出張

長井 寿 極低温機器材料研究グループ

低温材料に関する国際会議に出席のため、昭和58年8月13日から昭和58年8月22日まで、米国へ出張した。

●人事異動 昭和58年8月20日付

退職 津谷和夫（科学研究官）

昇任 科学研究官 内山 郁

（原子炉材料研究部長）

〃 原子炉材料研究部長 岡田雅年

（原子炉材料研究部 第2研究室長）

通巻 第297号

編集兼発行人 越 川 隆 光
印刷 株式会社 三 興 印 刷

東京都新宿区信濃町1-2
電 話 東京(03)359-3811(代表)

発 行 所 科学技術庁金属材料技術研究所

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