

金材技研

1986

科学技術庁

ニュース

金属材料技術研究所

構造材料特集

先端技術を支える構造材料 —— 極限環境下の構造材料開発を目指して ——

19世紀末の技術革命を先導し、20世紀の科学技術の発展に貢献した金属材料として、鉄鋼材料、アルミ合金材料などが挙げられる。これらの材料が生産機械、建造物、エネルギー機器、輸送システムなどの構造材料として活躍した実績は、長期間に亘る研究開発の成果である。現在これらの一部はすでに成熟の域に達し、研究の余地はあまり残されていないともいわれている。しかし、完成されたシステムにおいてさえ、構造材料の選択のあやまり、あるいは不完全性から我々の日常生活の根底をゆるがす事故が発生していることも事実である。

21世紀を目前にして、エネルギー、輸送、宇宙、海洋、医療、情報などの分野で新しいシステムが続々と生まれ、現在さらに新しいものが研究されつつある。これら新しいシステムのおかれる環境は、これまでのものと異なり極めて厳しいものが多い。すなわち、超高温、極低温、超高压、超高真空、過酷な放射線照射、腐食などで、我々の日常生活圏から極端にはなれた環境といえる。そして極限環境をつくり出すための極限技術の一部は、現在すでに実施されている。

これらに使用される構造材料には、当然のことながら極限環境に耐え、しかもその能力を充分発揮しうるものでなければならない。そのためには、高強度、高靱性などこれまでの構造材料に課せら

れた特性のほかに、極限環境下における高度の耐食性、耐スエリング性、あるいは非磁性などを要求されるものもある。しかし将来においては、さらに多様な機能性を求められる可能性がある。そして使用される元素も、これまでのFe, Al, Cuから、Ti, Mo, Mn, W, Nbなどのレアメタル、あるいは金属間化合物など多様化されている。

現在ある程度軌道にのっていると思われる極限システムに使用されている構造材料のほとんどは、長期間に亘る使用実績はない。また生体とのインターフェイスなど多くの問題をかかえている生体医療システムを始めとして、今後開発されていくであろう極限システム用構造材料に関しては、ほとんどが未踏領域における材料開発をしいられている。

極限的システムに用いる構造材料へのアプローチの手段として、現在行われているのは、既存合金をベースにしてこれまでの金属学的手法を用いた合金の開発である。しかしさらに極限化が進む近い将来においては、全く新しい発想のもとに研究開発される構造材料が必要となることは必至と思われる。そのためには、基礎的研究の方法論の再検討、あるいは異った分野との接触による刺激の導入などが必要となるのではなからうか。

当研究所では、上述の点を踏まえ、極限環境で使用される構造材料の開発研究を進めており、得られた成果の一部を以下に紹介する。

核融合炉用構造材料

——耐照射性に優れた材料の開発を目指して——

核融合炉の開発はナショナルプロジェクトとして進められ、JT-60によって、臨界プラズマ条件が達成されようとしている。これを受けて、第3段階の核融合開発長期戦略が原子力委員会核融合会議において策定されつつある。核融合炉用構造材料の分野においても、これまでの成果を総括するとともに、新たな方法論にもとづいて、新展開をはかる段階にきている。

重水素と三重水素の反応を利用する核融合炉の場合、14MeVという高エネルギーの中性子が発生し、構造材料を損傷する。この問題の解決こそが核融合炉そのものの成否の鍵といっても過言ではない。核融合炉は現在存在しないので、中性子照射環境を含む核融合炉環境下での材料特性を評価するためのシミュレーション試験が行われている。原子炉の炉心の構造材料は応力下で長時間高温に曝されるので、クリープ強度がとくに重要である。とくに炉壁材料は高速中性子の衝突によって、結晶格子から原子がはじき出され、そこで生成された格子欠陥が転位へと拡散し、上昇運動を引き起こす。この現象は、照射下での材料のクリープ速度を通常の場合より加速させるばかりでなく、低温、低応力下でもクリープ変形を生じさせる可能性をもたらす。これは炉心構造設計の観点から、憂慮される現象である。

当研究所では、この現象の基本的機構を明らかにし、また、照射クリープ速度の小さい新材料の開発を進めている。このための試験設備として、本年5月にサイクロトロンを中核とする軽イオン照射下クリープ装置を完成させ、試験研究を開始した。サイクロトロンはプロトン(p)、重水素イオン(d)、ヘリウムイオンおよびアルファ粒子を加速できる。照射下クリープ試験にはpとdを主に用いる。加速エネルギーはp:17MeV、d:10MeV、電流値はいずれも50 μ Aである。クリープ試験部はねじり応力荷重式と引張応力荷重式との2台を備えている。前者は10⁻⁷までの高精度の歪み測定が可能であり、後者は照射下でのクリープ破断試験が可能である。

これまでに得られたデータを西ドイツのユーリッヒ原子力研究所のデータと合わせて、図に示す。図の縦軸は、クリープ速度と照射による損傷速度の比を表わしたもので、一定応力の下でこの値が大きいのほど、照射により耐クリープ性が低下することを示している。商用316鋼、高純度316鋼、Fe-25Ni-15Cr合金(実験合金)の3種類の材料の結果が示されている。

実験合金は照射クリープの機構を調べるために溶製したもので、現段階では強度向上を目指したものではない。商用316鋼には、高純度316鋼と比較すると、Si、Mnなどが含まれており、このため照射クリープ速度が小さい。316鋼のNi濃度は12%程度であり、これと25Ni材との結果の比較から、Ni濃度を高めることは耐照射クリープ性に有効ではないことがわかった。一方、Ti添加によって照射クリープ速度は著しく低下した。今後、他の合金元素の効果や、析出物分散など金属組織の効果を明らかにしていく予定である。

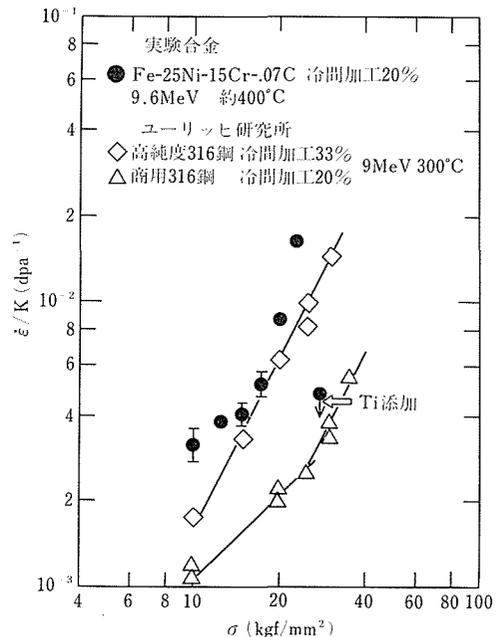


図 鉄基オーステナイト系合金の照射クリープ速度の応力依存性 (照射粒子: p 及び d)

超音速・極超音速旅客機用チタン合金

—— イットリウムとボロンの添加により β 型チタン合金の性能向上 ——

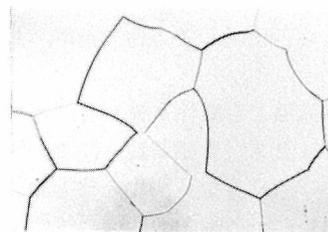
チタン(Ti)は1947年に米国で工業化が開始された歴史の浅い金属であり、鉄鋼をしのぐ強さを持ち、鉄鋼よりもはるかに軽く(約1/2)、ステンレス鋼よりも耐食性に優れているが、これまで一般構造材料としてあまり使用されなかった。しかし近年、航空・宇宙分野のめざましい発達により、また技術の進歩と需要の増加に伴う価格の低下により、高強度Ti合金が多量に使用されるようになった。今後さらに高温強度を有する新合金の開発により、航空機に限らず、用途が広がるものと期待されている。

現在一般的な航空機である亜音速機、例えばボーイング747は速度はマッハ約0.8で、機体の大部分はAl合金が使用されており、Ti合金は主として高強度が要求されるはりや客室床面部材、エンジンまわりの防火壁などに2%程度使用されているにすぎないが、将来8%程度の使用が計画されている。またジェットエンジンではコンプレッサのブレードやディスクなどに数多く使用されており、B747ジェットエンジン重量の30%近くがTi合金である。

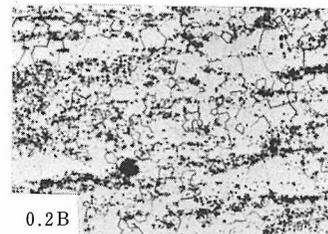
さらに航空機が速度が上昇するとともに空気摩擦のため、機体表面の温度は高くなり、マッハ3近くで飛行する超音速機SST(Super Sonic Transport)では約300°Cに、また最近米国で発表された極超音速機HST(Hyper Sonic Transport)オリエン特・エクスプレスでは870°Cにもなるといわれている。このような高温に耐え、かつ機体重量を節減するために高比強度材料のTi合金が使用され、冷却機構を取り入れたものが計画されている。かつて米国で計画したSSTでは機体重量の60%のTi合金が使われる予定であったし、現在計画中のHSTではそれ以上のTi合金が使われることが予想される。このようにSSTやHSTの過酷な環境に耐える材料として、高比強度、耐熱性、加工性、疲労特性などに優れたTi合金の開発が望まれている。

当研究所では、冷間加工性の優れている β 型Ti合金に着目し、高強度、高靱性など性能向上のため、組成や組織因子を変え検討している。ここで

は金属材料の加工性や機械的性質の基本因子である結晶粒の微細化をTi-15V-3Cr-3Sn-3AlとTi-15Mo-2Fe-3Alの2種の β 型Ti合金にイットリウム(Y)とボロン(B)を0.1~0.4%添加すると、写真から明らかなように結晶粒が微細化すると同時に粒成長の抑制効果があることがわかった。これらの効果は Y_2O_3 や TiB_2 粒子が微細に分布し、転位や粒界の移動を阻止していることに起因している。またYを添加した合金を1500°Cの高温で溶体化処理すると分散粒子の Y_2O_3 がマトリックス内に溶け込み、これを時効処理すると Y_2O_3 が再び微細に析出する新しい現象を明らかにした。この新しい現象は β 型Ti合金に Y_2O_3 を任意に分布させることと、結晶粒度の制御の可能性を示唆するものであり、この現象を利用することにより、 β 型Ti合金の加工性や機械的性質の向上が期待される。



無添加



0.2%B添加



0.2%Y添加

写真 Ti-15Mo-2Fe-3Al合金にBとYを添加したものの1000°Cでの再結晶組織

極低温構造材料

—— 極低温・強磁界環境にもまけない強力合金を開発 ——

超電導コイルで発生させた強磁界を利用する機器に用いる構造材料では、一般の材料に必要な高い強度と靱性のほか、種々の物理的特性が問題となる。

すなわち、弾性係数が高く、非磁性でかつ熱膨張率の小さいことが共通して求められている。これは機器の冷却時に発生する熱応力や、稼動中の電磁力を極力低下させるためである。とくに、パルス磁界や磁界の乱れによって生ずる電磁力は、構造材料の磁性が強いほど増大し、同時に過電流による電力損失も大きくなる。また超電導利用機器の大型化にともなって各種部材に加わる機械的応力、熱応力、電磁力の増加は加速度的となる。

このようなことから、超電導磁界利用機器の構造材料には非磁性のオーステナイト・ステンレス鋼が用いられている。しかし最近、在来材料では強度の面で問題があることがわかった。このため、極低温用の非磁性新合金の開発が急がれ、現在、二つの方向からの検討が各方面で進められている。

その一つは、極低温でも靱性を失わないオーステナイトのマトリックス (γ 相基地) にガンマ・プライム (γ') と呼ばれる金属間化合物を分散析出させて強度を高めた耐熱合金の極低温への転用をはかるものである。この合金は通常のオーステナイト鋼よりも1.5~2倍も高い降伏強さを有し、AlやTi合金と比べて弾性係数も2倍近く高い。

他の一つは、Fe-Ni-Cr系の耐孔食合金や高Mn耐磨耗合金を窒素により固溶強化したものをベースにした研究開発で、最近では高強度、高靱性で、熱膨張率の小さい非磁性合金が生みだされつつある。

前者の一つであるFe-Ni-Cr基合金に γ' 析出強化を行ったものは強度の温度依存性が小さく、しかも熱処理温度が Nb_3Sn 超電導材のそれとほぼ一致するなどの利点を有している。しかし、この合金系は極低温で磁気変態を起こして強磁性化すること、靱性が低いこと、溶接性に乏しいなどの欠点がある。

当研究所では、この系の合金の特長を生かした上で上記欠点を極力低減することを目標に開発にとりくんでいる。

まず、極低温での合金の磁性を弱めるために、基本組成をこれまでのFe-Ni-Cr系からFe-Ni-Mn-Cr系に改めた。つぎに γ' による析出強化組織が得られる条件、 γ 相と γ' の磁気特性、さらに極低温での機械的性質などの研究を行った。その結果、23~30%Ni, 3~10%Mn, 13~16%Crを主要組成とし、写真に示すように微細で均一な γ' 相の析出により強化され、かつ良好な靱性を有する非磁性合金を開発することができた。この合金ではC, SiおよびB量を一定限度以下に押えれば溶接性も良い。

本研究で開発した合金は、Fe, Ni, MnおよびCrの基本組成による高い弾性係数をベースに、 γ' 析出を組織制御し、その上にCr, Mnと γ 相のFeによる反強磁性効果を加えたもので、超電導導体のケース材、シース材などの広範囲な適用に期待がよせられている。今後は、当研究所の極低温材料試験装置を活用して、この合金の極低温における機械的性質の実証的なデータの蓄積などを行う。

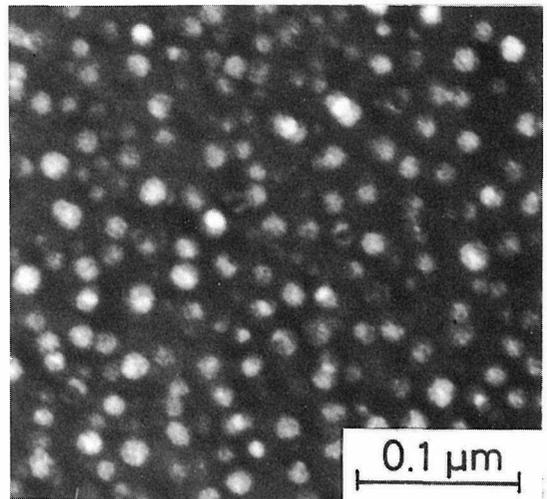


写真 γ' 相析出強化型オーステナイト極低温構造材料の顕微鏡組織

Mn添加したTiAl金属間化合物 材料の新しい特性

航空機の高速化、高効率化は、用いるエンジン材料にたいして、軽くてしかも高温に耐えるという極限的性能を要求している。TiAl金属間化合物は比重が3.8と軽かつ高温における強度や耐酸化性が優れているので、これら要求を満たす可能性がある。しかし、今のところこの材料は常温での延性が乏しく実用化されていない。

当研究所ではTiAl金属間化合物をベースとした新耐熱材料の研究を行い、Mn添加によって常温延性が大幅に向上することを見出している

(金材技研ニュース1985年No.5既報)。その後の研究によってMn添加合金には一般材料と異なる次のような性質が見出された。すなわち、合金成分を変えて延性を向上させると、一般には高温強度が低下するのが普通であるが、TiAlではMn添加によって高温強度が増加し、また常温から800°Cまで、温度が高い方が逆に強さが増すという特異性(強さの逆温度依存性)がみとめられた。強さの逆温度依存性は金属間化合物の単結晶では知られているが、多結晶には現われないと言われていた。Mn添加によるこのような新現象の解明に現在取り組んでいる。

蒸着薄膜の断面の透過型 電子顕微鏡による観察

表面の近くで深さ方向に構造が異なる材料の表面近くを透過型電子顕微鏡で調べるには、断面に沿った薄膜を作る必要がある。断面の薄膜を作るには、膜の保護のため下地と同じ金属を接着した後、厚さ120μm位に薄く切り、次にアルミナ懸濁液でさらにアルゴンイオン流を打ちつけることにより研磨する。この時、皮膜の表面が削られないように工夫する。

写真はバルクのモリブデン単結晶下地にタングステン薄膜を蒸着した試料の電顕写真で、蒸

着膜が柱状に成長していることがわかる。この方法は積層薄膜、各種表面処理などの断面観察に役立つものと思われる。

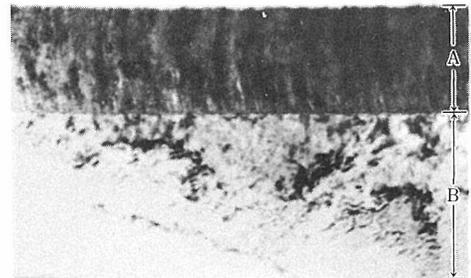


写真 A = タングステン蒸着膜柱状晶, 130nm
B = モリブデン単結晶下地

高性能高温伝熱管用鍛造 Ni基合金の開発

高温伝熱管材料に望まれる性質は安全性、熱効率および経済性の面からクリープ速度は小さく、破断寿命は長くかつ大きい破断伸びを示すという特性を有することである。先に工業技術院の大型プロジェクトで、原子力製鉄用熱交換器材料の開発が行われ、Ni-Cr-W系合金が900~1050°Cで最も優れた性能を有することが示されたが、上記特性を十分に満たしているとはいいがたい。

そこで当研究所は、これまでに得られた多く

の知見を基にして、Ni-26Cr-16W系合金について研究を行い、固溶強化のためのW量の増加と、クリープ強度および延性の向上に役立つとされているB、Zrの添加について検討を行った。その結果、BとZrの複合添加とW量の増加により、定常クリープ速度がこれまでのものより小さく、破断伸びが大きく、1000°C、10万時間のクリープ破断強度が2 kgf/mm²以上と推定される合金を得ることができた。この強度は前記大型プロジェクトの目標値の2倍にあたる。

この優れた特性はZrによる延性向上とBの炭化物微細化作用によるものと考えている。

創立30周年記念式典挙行

昭和31年に創設された当研究所は、本年満30年を迎え、去る10月30日三ッ林科学技術庁長官をはじめ、岩動前科学技術庁長官、参議院科学技術特別委員会委員長伏見先生、同委員会理事塩出先生、さらには関係各界から多数の方々のご臨席を仰ぎ、創立30周年記念式典・祝賀会を挙行了した。祝賀会の席上、岩動先生から「年重ね 様々に咲けり 薫る菊」との即興句を頂戴し、その含蓄ある妙趣に一同感じ入りました。

当研究所はこれまで常に我が国の材料科学技術研究の先駆者として、発展の牽引力となって努力をしてきた。科学技術全般の基盤である材料科学技術研究に対する期待がますます増大してきている今日、時代の要請に応えるべく更なる邁進を決意し、広く

科学技術の発展に寄与することにより、国民の福祉に貢献する所存である。関係各位におかれては旧に倍するご支援をお願いする。



〔1986年金材技研ニュース題目一覧〕

題 目	No.	通巻	題 目	No.	通巻
〔材料開発部門(I)〕			応用分野を広げる粉体の新製造技術	2	326
金属材料の構造を制御する	3	327	超微粉を効率よく作る	2	326
セラミックコーティング膜の密着性向上	3	327	粉体の特性を高度に生かす利用技術	2	326
PbSレーザ200Kで発振に成功	3	327	超微粒子の活性をおさえる	5	329
イオン注入による金属表面の構造制御	3	327	新機能の宝庫レアメタル	8	332
0次元物質—磁性流体	3	327	育成の困難なレアアース酸化物結晶の合成に成功	8	332
材料開発の基礎—材料物性研究	4	328	削圧付加押し加工技術が実用化へ	9	333
固体表面の表情をさぐる	4	328	水素侵食の初期過程の解明を目指して	9	333
希土類化合物の物性と超高压	4	328	〔材料信頼性部門〕		
金属間化合物のもろさを克服	4	328	金属材料の疲れデータシート	1	325
鋼における形状記憶効果	7	331	〔その他〕		
ハイブリッド材料	11	335	新年のごあいさつ	1	325
Mo/Sb積層薄膜の超電導	11	335	特許紹介	1	325
〔材料開発部門(II)〕			科学技術庁長官当所を視察	1	325
軽イオン照射下クリープ試験装置完成	5	329	軽イオン照射下クリープ試験施設が完成	3	327
粉末冶金チタン合金の高性能化	5	329	創立30周年記念研究講演会	5	329
超電導マグネットによる磁界の世界記録達成	6	330	創立30周年を迎えて	10	334
電子ビーム照射によりNb ₃ Al基超電導化合物の線材化に成功	6	330	転換期を迎えた金材技研	10	334
日米核融合高熱流束材料ワークショップ	7	331	出願公開発明の紹介	1	325
海洋構造物への摩耗疲れの影響甚大	11	335	科学技術週間行事のお知らせ	3	327-331
先端技術を支える構造材料	12	336	研究成果の発表	4	328-335
核融合炉用構造材料	12	336	特許出願速報	6	330-334
超音速用・極超音速旅客機用チタン合金	12	336	クリープ受託試験の現況	9	333
極低温構造材料	12	336	創立30周年記念式典挙行	12	336
〔生産技術部門〕			スポットニュース	1	325-326
古くて新しい粉体技術	2	326	1986年金材技研ニュース題目一覧	11-12	335-336
				12	336

◆計 報

橋本宇一 (金属材料技術研究所初代所長)
11月29日逝去

◆短 信

●受 賞

日本金属学会論文賞

筑波支所長 太刀川恭治、極低温機器材料研究グループ 関根 久、飯嶋安男、伊藤喜久男は「ブロンズマトリックスへのTi添加による複合加工—Nb₃Sn線材の高磁界特性の改善」により昭和61年10月20日、賞を受けた。

●海外出張

渡辺 治 機能材料研究部第5研究室長
「米国におけるFRM及びFR C複合材料技術調査」団長と

して11月9日から11月23日までアメリカ合衆国へ出張した。

吉松史朗 製錬研究部長

「連続ニオブ抽出技術」の開発に係わる情報交換のため11月17日から11月21日まで中国へ出張した。

小口多美夫 機能材料研究部第2研究室研究員

「金属超格子と金属間化合物の電子状態の研究」のため11月25日から12月24日までアメリカ合衆国へ出張した。

小川恵一 機能材料研究部第2研究室長

「米国材料学会(MRS)超電導材料シンポジウム」に出席のため11月30日から12月8日までアメリカ合衆国へ出張した。

●人事異動

昭和61年10月31日

退職 中村 実 (筑波支所管理課長)

昭和61年11月1日

昇任 筑波支所管理課長 魚谷賢治 (航空宇宙技術研究所)

通巻 第336号

編集兼発行人 加藤 公輝
印刷 株式会社三興印刷

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丁目3番12号