

平成4年度

超耐環境性先進材料の研究開発(金属間化合物)
に係る研究動向調査

平成5年3月

新エネルギー・産業技術総合開発機構
財団法人 産業創造研究所

NEDO 図書・資料室



010015495-4

超耐環境性先進材料の研究開発(金属間化合物)
に係る研究動向調査

財団法人 産業創造研究所

平成5年3月 156頁

調査目的

超耐環境性先進材料のうち、金属間化合物関連の技術動向について、大学、国立、民間の研究機関等における研究動向の情報を収集するとともに、NEDOが推進する金属間化合物関連のプロジェクトの計画、目標に対する学識経験者の意見・評価を収集することを目的とした。

平成 4 年度
超耐環境性先進材料の研究開発(金属間化合物)
に係る研究動向調査

目 次

まえがき.....	1-1
1 調査の概要.....	1-2
1.1. Summary.....	1-4
1.2. 実施責任者.....	1-5
2 調査の主旨と目的.....	2-1
3 主要な外国における金属間化合物研究動向.....	3-1
3.1 米国における金属間化合物の研究.....	3-1
3.1.1. NASP-NMASAP計画.....	3-1
3.1.2. NMASAPにおける Ti-Al系金属間化合物開発成果.....	3-10
3.1.3. IHPTET計画.....	3-23
3.1.4. エネルギー省による研究開発.....	3-27
3.1.5. 米国重要技術報告書における金属間化合物研究.....	3-29
3.2. ドイツにおける研究開発.....	3-31
3.3. 英国における研究開発.....	3-35
4 最近の注目成果.....	4-1
4.1. "Forecast'92"に紹介された金属間化合物関連の成果.....	4-1
4.2. Ti-Al系金属間化合物の最近の興味ある成果.....	4-4

5	「超耐環境性先進材料の研究開発(金属間化合物)」プロジェクトに関する国内外研究者の意見聴取結果	5-1
5.1.	外国研究者の意見	5-1
5.2.	国内研究者の意見	5-22
5.3.	研究者の意見・評価一覧表.....	5-33
6	「超耐環境性先進材料の研究開発(金属間化合物)」関連の最近の研究成果資料リスト.....	6-1
6.1.	"AeroMat"における金属間化合物の成果発表	6-2
6.2.	Ti-Al系金属間化合物に関する文献.....	6-10
6.3.	高融点金属間化合物(Nb-Al系)に関する文献	6-52
6.4.	超耐環境性先進材料(金属間化合物)関連特許.....	6-57
7	結言	7-1

まえがき

本調査は、新エネルギー・産業技術総合研究開発機構(NEDO)の産業技術研究開発部からの請負業務として実施したものである。

「次世代産業基盤技術開発制度」のもとで実施されている「超耐環境性先進材料の研究開発(金属間化合物)」においては、今年(平成5年)で前半を終了し、中間評価がおこなわれる。

このような時期にあたり、本調査ではとくに本プロジェクトの研究開発成果の評価とともに、国内外で盛んに進められている金属間化合物の研究動向を調査し、関連情報を収集・整理、さらに国内外の研究者に本プロジェクトに関する意見・評価をまとめた。

調査にあたり、忌憚のないご意見を賜った面接者、アンケートにに応じていただいた海外の研究者、ご指導をいただいたNEDOの担当者および調査にご協力をいただいた(株)日鉄技術情報センター松尾宗次主席研究員に深く感謝の意を表すとともに、本報告書が関係各位のお役に立つことを切望する次第である。

平成5年3月

財団法人 産業創造研究所
理 事 長 那 須 翔

1. 調査の概要

本調査は、「次世代産業基盤技術研究開発制度」のもとで実施されている「超耐環境性先進材料の研究開発(金属間化合物)」に関する研究動向を調査し、関連情報を収集・整理したものである。

「超耐環境性先進材料の研究開発(金属間化合物)」プロジェクトにおいては、「高比強度金属間化合物の開発」と「高融点金属間化合物の開発」の二項目に分けて実行されており、今年度(平成4年度)で前半を終了し、中間評価がおこなわれる。

そのような時期にあたり、本調査ではとくに本プロジェクトと関連する金属間化合物を対象とする諸外国の研究開発活動を調べた。とくに米国、英国、ドイツでは産官学による組織的な研究活動が進められている。そのような研究開発プログラムの内容と成果を取りまとめた。注目されるのは、いずれの国においても基礎的・探索的な研究が重視されていることである。

次いで、国内外で盛んに進められている金属間化合物の多数の研究成果の中で、本プロジェクトと関連し興味ある成果を取り上げた。その例は、ガンマ・チタン・アルミナイドの極低酸素材の鑄造法、熱間および冷間圧延法、超塑性付与、高ニオブ参加物分散合金などである。またTi-Al基三元系状態図の集成が刊行され、今後これをもとに実プロセスに即した組織形成に関するデータの蓄積が進むことが期待される。

本プロジェクトは通産省工業技術院の主導のもとに推進されているが、国内外の関連研究者たちはこの研究開発の実行と成果に強い関心を寄せている。本調査ではそのような国内の産学の研究者たちに面接、国外の研究者たちにはアンケートを送付して意見を求めた。その質問項目は (1)本プロジェクトの周知程度、 (2)国家主導による推進体制、 (3)研究開発の材料目標の実現可能性、 (4)開発材料の用途目標の妥当性、 (5)基礎研究と応用研究のバランス、 (6)研究実施体制、その他である。この中で、とくに(3)の項目についてはほとんど全員が目標の的確性と実現性に疑問をもっている。この点は、目標値の(4)の想定用途との関連での設定、さらには適切な材料特性評価方法の確立など、今後の重要な研究開発課題を提起しているものと考えられる。

また本プロジェクトの研究開発姿勢において欠如しているとの指摘が多かった点は、上記の用途と目標の関連以外に、基礎研究成果あるいは普遍性のある情報・知見を広く提供できるような進め方であるか、である。「高比強度金属間化合物」と「高融点金属間化合物

物」という未だ構造材料として未成熟の素材を信頼性の高い実用材料に育て上げるには、現状のままでは不十分であるというのが一致した意見である。とくに最高の安全性を求められる航空・宇宙材料用途あるいは超高温材料を指向する材料開発に必要な材料特性評価の標準的方法の確立、各種機械的性質の材料科学的な裏付けによる材料信頼性の共通的理解の確立などの基礎的研究は国家プロジェクトにおいてのみ、はじめて実現できる研究開発であろう。これらの貴重な意見を汲み取り、今後国際的に評価される成果を達成できることが期待されている。

終わりに1992年に公表された文献および特許資料のリストを収録した。

1.1. Summary

This document surveys the state-of-the art of the study of intermetallics for structural use in connection with the research and development program of "High-performance Materials for Severe Environments (Intermetallic Compounds)" in Japan commissioned by the New Energy and Industrial Technology Development Organization. In the program, the goals are set for development of gamma titanium aluminides as high specific-strength materials for application at about 1100°C and niobium aluminides as heat resistant material at about 1800°C.

In the first part, the current activities and R & D programs of intermetallic compounds in the USA and Europe are reviewed. Fundamental characteristics of intermetallics are extensively studied in these countries.

In the second part, some noticeable topics of recent progressess in the intermetallic research and development are described. These results include melting of high-purity gamma titanium aluminides, cold rolling and superplastic forming of gamma titanium aluminides, and high-niobium ODS Ti-Al alloys.

In the third part, opinions and comments on the program "High-performance Materials for Severe Environments (Intermetallic Compounds)" are invited from the foreign and domestic researchers who are active in the study of intermetallics but not participating in the program. Valuable advice can be found on evaluation and approaches of the goals of the program, current state of the materials maturation, and possible applications of intermetallic compounds.

Recent literature and patents are listed on the processes and properties of high-performance materials for severe environments (intermetallic compounds).

1.2. 実施責任者

財団法人	産業創造研究所	調査研究部	部長	西田 啓一
財団法人	産業創造研究所	調査研究部	主任研究員	芹生 尚之
財団法人	産業創造研究所	調査研究部	主任研究員	帆足敬二郎

2. 本調査の主旨と目的

本調査の目的は、「耐環境性先進材料」のうち金属間化合物関連技術の動向するとともに、本プロジェクトに対する意見・評価の収集である。

そのような目的にしたがい、(1) 国内外の関連技術の調査、(2) 本プロジェクトに対する意見・評価の調査、を以下のような内容で実行した。

(1) 国内外の関連技術の調査

主として超高温材料として用いられる金属間化合物に関して、現状の技術を大学、国立研究所、民間研究所などについて動向を調査する。

対象材料は、Nb-Al系、Ti-Al系および金属間化合物複合材料とする。

調査項目は、特性、プロセス、用途などである。調査の進め方は、文献の検索・収集・整理と特許調査からなり、それを通して国内外の研究動向のまとめをおこなう。そして主要な資料のリストを作成する。

(2) 本プロジェクトに対する意見・評価の調査

本プロジェクトの計画、目標に対する国内外の意見・評価について、ヒアリングなどにより調査を行なう。

その調査項目は、

- ・ 認知度
- ・ 国が実施することに対しての意見
- ・ 研究項目
- ・ 研究目標
- ・ 研究体制
- ・ 今後期待すること、である。

これらの項目について、ヒアリングとアンケートにより、企業、大学、国立研究機関の金属間化合物関連研究者に意見を求めた。

以下、これらの調査結果を、

主要な外国における金属間化合物研究動向

最近の注目成果

国内外研究者の意見聴取結果

文献・特許資料リスト、の順で以下に記した。

3. 主要な外国における金属間化合物研究動向

国外においても、いくつかの国で構造用金属間化合物の実用化への組織的な研究開発活動が進められている。これらの活動内容と進捗状況を、米国、ドイツ、英国について、以下に簡単にまとめる。

3.1. 米国における金属間化合物の研究

米国においては金属間化合物の開発研究は主として、NASP計画とIHPTET計画との関連で進められている。他に、エネルギー省による基礎的な研究開発が国立研究所を中心におこなわれている。

3.1.1. NASP-MASAP計画

National Aero/Space Plane (NASP)プログラム、とくに金属間化合物の研究開発と密接に関連するNASP Materials and Structure Augmentation Program (NMASAP：材料と構造の拡張プログラム)の概要を、同プログラムのJoint Management Team LeaderであるMcDonnell Douglas社のNed NewmanのAAIA(American Institute of Aeronautics and Astronautics)に提出した報告をもとにして記す。とくに計画の運営管理面で、興味ある進め方を考慮しているのが注目される。

National Aero/Space Plane (NASP)プログラムは、米国の航空機産業が次世紀の高度な技術を獲得しようとする開発計画である。この技術的な挑戦に加えて、この国家的プロジェクトには運営管理の考え方と実行面における革新を求めるものであった。宇宙航空機に航空力学、材料、宇宙工学などを統合して、全く新しい可能性を追求するものである。こうした宇宙航空技術の開発により、今日のシステムよりも著しく低コストでペイロードを軌道に運ぶ航空機による宇宙飛行、高速の軍事・民間航空機の使用能力の著しい向上などが実現できる。

このプロジェクトのための技術的な挑戦課題は、極めて困難であるが、実現可能である。この国家的事業の運営管理面でも同様である。技術開発と運営管理両面での挑戦には、高度な革新、創造性とハードワークが求められる。

この材料開発は、NASP Materials and Structures Augmentation Program (NMASAP)の一部として、NASP請負者、政府と産業界の間の協力とチームワークについても新しい考え方でのぞんでいる活動となっている。

3.1.1.1. 歴史的展望

低コストの宇宙飛行と経済的な超音速航空機を実現する上での制約の一つは、実用的で、低コスト、高温用低密度の構造材料が得られていないことである。NASP計画は、基本的に技術開発プロジェクトであり、このニーズに対処する材料を共同開発する革新的なアプローチを開始した。プロジェクト初期に、材料開発を促進する必要が認識された。その当時は、総ての参加企業と種々の国立研究所は、かなり独立に活動していた。いくつかの企業から提案があり、政府は材料開発について共同開発を承認し、拡大させた。1984年制定のNational Cooperative Research and Development Act(国家共同研究開発法)にもとづいて、企業が研究開発活動を共同でおこなうコンソーシアムが創立された。Joint Program Office (JPO)が主導して、それまでのNASP計画を修正し、三つの機体メーカーと二つのエンジン・メーカーが共同して一つの材料と構造の開発プログラムを発足させた。このNMASAPコンソーシアムは全体で五つの請負企業を含む。五つの企業は、General Dynamics, McDonnell Douglas, Pratt & Whitney, Rockwell-North American Aviation, Rocketdyneである。このプロジェクトは計画の原則を定義し、総ての請負企業が署名したAssociate Contractors Agreementにもとづいている。この協定は参加者たちの作業する関係を定めている。プロジェクトの第一義的目標は、通常有人飛行機で材料確性承認を得るために15年程度必要とされる期間を大幅に短縮して、X-30用に材料選択と開発を促進することにある。

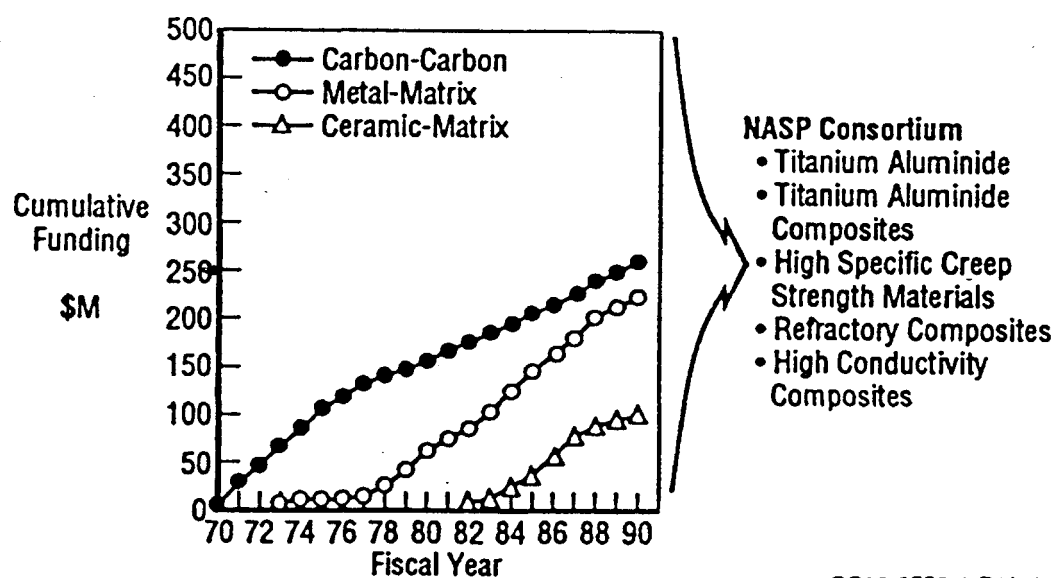


図3.1. NASP計画に関わる政府資金

このプロジェクトの成功への確信は非常に高い。その理由は、20年間にわたって進められた国防省の中核科学技術計画において、可能性の大きな複合材料と機体構造技術の相当部分が開発されてきたためである。1970年から1990年の間に、国防省は約60億ドルを費やして技術基盤を築き、将来の計画を実行するための政府、産業界、学界のインフラストラクチュアを確立してきた。NASP計画はこの大きな技術基盤の上を利用して、材料開発に照準を合わせた研究開発をスタートさせたのである(図3.1.)。

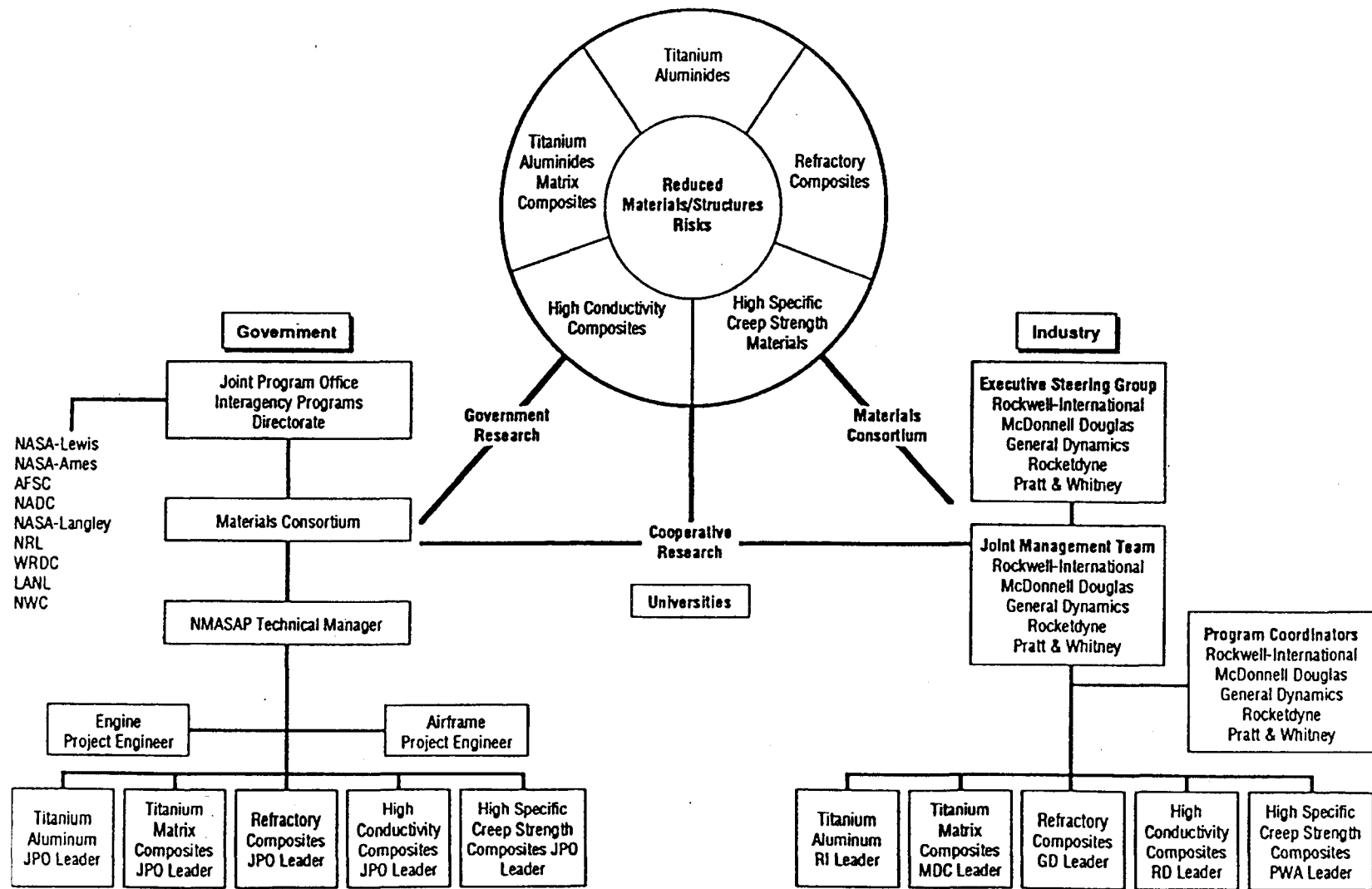
3.1.1.2. 計画の実行方法

この計画の実行は競合段階にある企業にとって新しい形態をとっている。つまり実行において、チーム参加が求められ、成果を分かち合い、焦点を定め、リソースをプールすることになっている。いいかえれば、計画の共通の利益のために、材料開発は競争から除外される。しかし各請負企業の担当部分の設計への材料の応用については、NASP体制以前の競合関係が存続する。NASP JPOにおける議論の中で、WRDC (Wright Research and Development Center) 材料研究所からの情報をもとに、NASP参加企業が協同開発を進め、重要なNASP適用素材を完成に導けるものと判断されたのである。

NMASAPの参加者として、各NASP請負企業は政府と、特定の材料についての開発を主導する契約を締結し、開発努力を傾注してリスク分散をはかる。General Dynamicsは耐熱性複合材、McDonnell Douglasはチタン基複合材料、North American Aircraftはチタン・アルミナイド、Pratt & Whitneyは高比クリープ強度材料、Rocketdyneは高熱伝導性複合材料をそれぞれ担当する。各企業は計画に貢献する独自の能力と強みをもっている。各請負企業は、また、材料システムのおのおのについてのタスクに責任を負っているので、技術トランスファは保証される。計画の材料面の要求は、X-30の構造設計に関連している。これらの要求からは、設計で許容できる材料、スケールアップ可能なプロセッシングと加工が開発課題となる。これら五つの契約は総額約15億ドルにのぼり、下請け企業は国内全般におよんでいる。これはNASP計画初期に材料開発に設定された1.7億ドル程度の資金にくらべると著しい増加である。こうした材料と構造開発への重点化はこれらの材料の潜在的市場を作りだし、材料供給業界に強い関心の高まりを生んだ。

3.1.1.3. 計画の運営管理

図3.2.は計画の組織構成を示す。筆頭には各参加企業を代表するプログラム・マネージャーからなる最高運営委員会がある。各企業は一人のリーダーを指名して、連合運営チー



GP02-0558-2-D/dmb

図3.2. 米国のNMASAP運営組織

ムの委員とする。その中の一人が最高運営委員会により選ばれて、NMASAP活動の調整と統括をおこない、必要な意志決定手続きをとる。他の主要な役割は企業内部の調整の責任をもつ計画調整者である。各企業は能力のある重要な人材を提供するとともに、重要な知的財産(特許・技術情報)や特殊装置や設備の共用をおこなう。

政府側における計画の運営はJPOがおこなう。そのInteragency Program DirectorateはNMASAPの実行責任をもつ。計画の技術的管理者と五人の各材料担当の政府委員がWRDC材料研究所に駐在して、企業の材料開発リーダーと直接のコンタクトを保っている。また図において、この計画を支える多数の政府機関の存在が示されている。政府のおこなう管理的な業務以外に、種々の国立研究所が材料の試験・解析・評価を実行している。それらの研究所は、たとえば粉末冶金や水素の影響などについて、高い専門性で大きく貢献している。

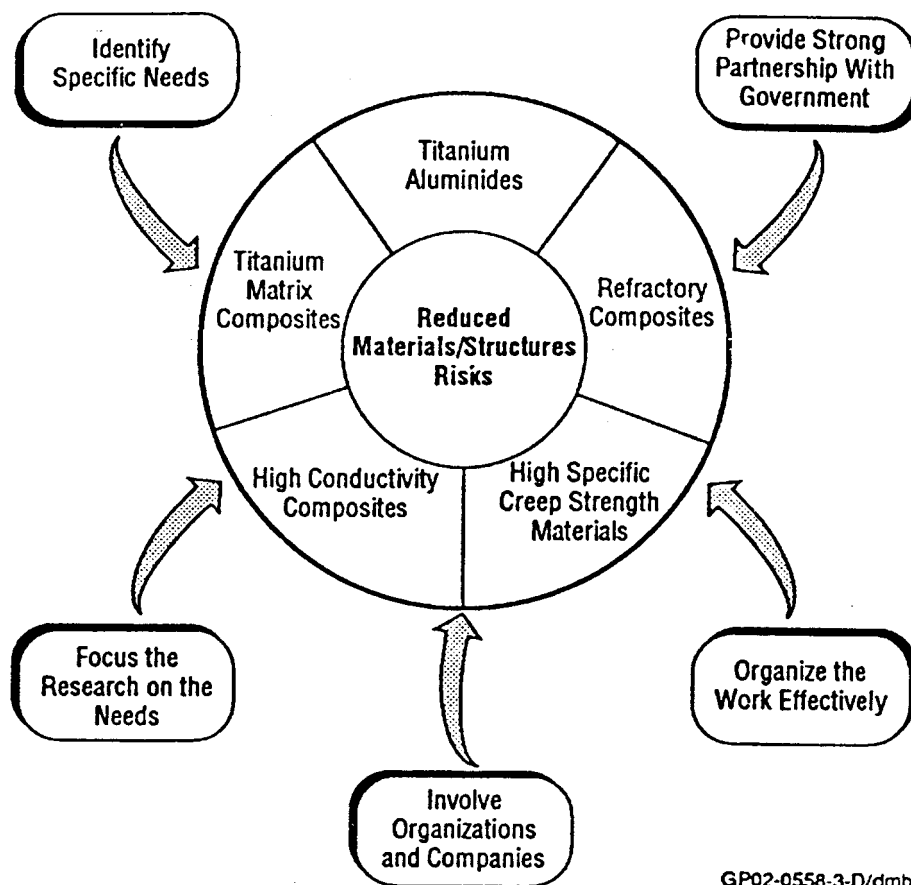
このような主要参加企業間の総合力は、五つの企業の責任者からなる連合運営チーム(Joint Management Team)の主導力によって、1988年以降進展しつつある。このような総合力の基盤はAssociate Contractors Agreementにある。この協定は、最高運営委員会がどのように機能するか、連合運営チームがどう機能するか、問題解決の手順を明確にし、タスクの割当がどのようになされたかを記録する。この運営管理構成は各企業からの考慮すべき提案や助言を受け入れるように組まれている。

NMASAPの重要な特徴であり、また最も独自の運営は、企業がこの計画に適用できそのようなIndependent Research and Development (IRAD) の成果を分かち合うことを合意していることである。ここでいう情報とは、別個のIRADプロジェクトの成果や材料関連の特許を含む。膨大な高温における要素試験の結果も分かち合う。これらのデータは各企業の既存のデータ・ベースに組み込まれて、開発促進に役立てられる。

3.1.1.4. 運営の原則

コンソーシアムのチーム活動を促す主要な五つの原則が図3.3.に示されている。

- (1) それぞれのニーズを明確にする
- (2) ニーズに沿った研究に重点化する
- (3) 多くの機関や企業の参入機会を備える
- (4) 効率的な成果達成と方向転換の作業を組織化する
- (5) 政府との強力な関係をおこなう



GP02-0558-3-D/dmb

図3.3. NMASAP運営の原則

先ず第一に、特定のニーズを明確にすることが重要である。NMASAPでは、ニーズはX-30に使用可能な耐熱・軽量材料であり、さらにNASPから派生する航空機を含めて、将来の航空と宇宙に応用可能な技術を開発することである。これらのニーズから、NASPの作業条件下における高温特性と強度特性に関するNMASAPサイドの要求を明確にできる。従来の材料開発において、実験室の研究者たちは一般に開発業務において特定の機体仕様とは関わりなく研究していた。この場合には、すべての材料への要求は実験機のX-30に特定されている。この要求はシステム全体にわたり整合され、構造設計に反映し、X-30への適用に必要なサイズとスケールが確立される。

第二に、ニーズにしたがって研究開発活動を重点化することである。活動全体は異なる場所の人間が、望まれる結果を明瞭に理解して、共通のゴールに向かって作業できるようなアプローチをとる。各請負企業は一つの材料システムについて責任をもつだけでなく、他の材料システムの特定のタスクを完成させる責任も負う。

第三に、米国に存在する人材，データ，試験設備などの資源を最大限に活用するような仕組みをつくることである。産業界，学界，政府関係で蓄積された大量のデータは，計画の特定のニーズにあてはめて用いられる情報として有効に用いることができる。豊かな材料情報と経験に代表される膨大な国家的な資源は，下請け企業，大学，政府，請負企業によって引き出すことができる。NMASAPの約60%の仕事は，五つの一次参加企業から下請けに受け継がれている。図3.4.は参加機関の所在地図である。これらの膨大な協力機関が主体的に参加できる機会が準備されている。

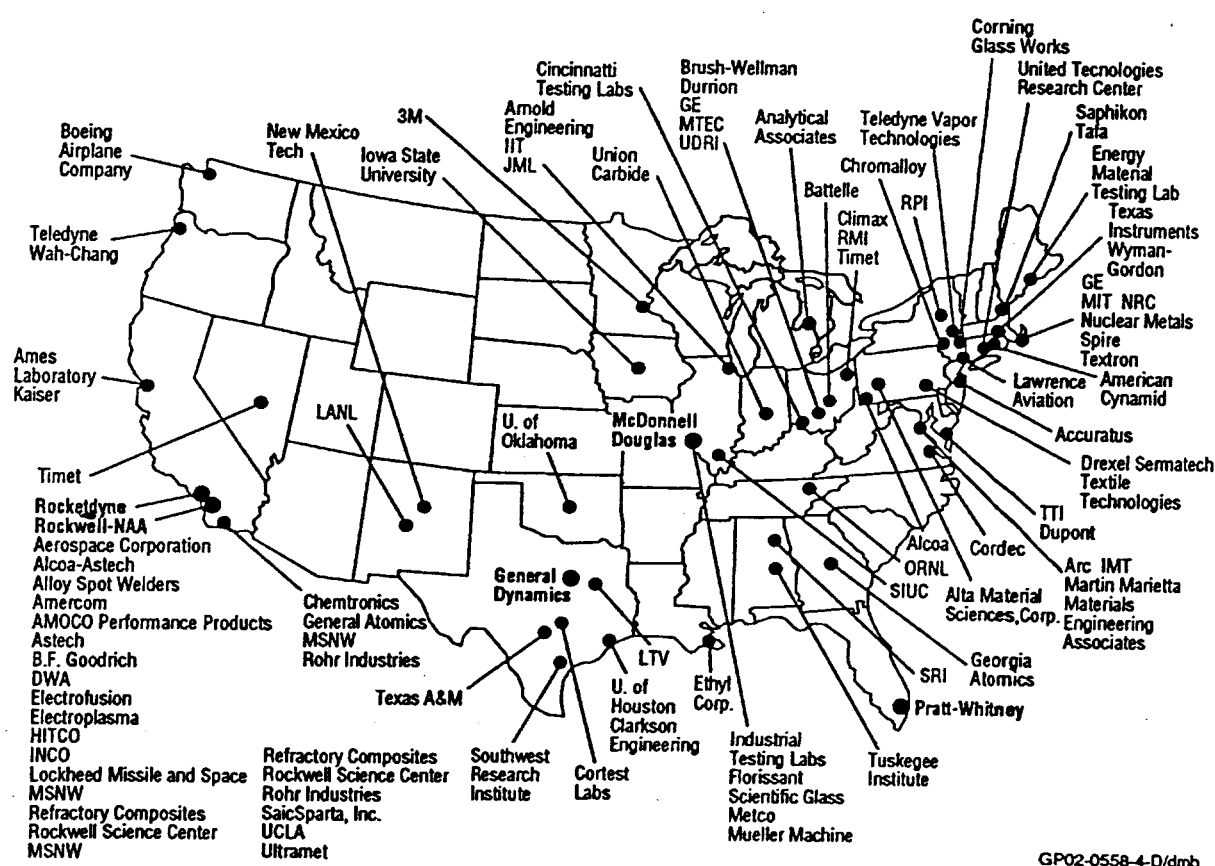


図3.4. 米国のNMASAPに参加する機関

第四に，活動が組織化され，広い範囲の活動をカバーする必要がある。そのためにマスタープランと情報交換のための共通の言葉を整備する必要がある。その活動計画は材料開発と解析から派生する業務として，材料加工，試験，スケールアップを包含する。平行的な開発と軌道修正を取り入れる柔軟性をもたせるように配慮される。

研究の遂行にあたって、参加者全てに計画、関与、義務がよく伝達されねばならないので、材料システム、タスク、請負企業の課せられたタスク、各開発活動の全体スケジュールとの関連などを定めたMaster Plan and Control Documentが作られている。またコンソーシアム全体の共通言語として、Work Breakdown Structure (WBS)が制定されている。このようなことは、多種類の専門をもち、異なる考えをもつ多数の人材が、建設的にそして互いに相補的に活動する上で極めて重要なこと認識されている。

最後に、活動の統合を役目とする政府とのパートナーシップを確立することが重要である。政府関係者はいくつかの鍵となる部署に入り込み、データ・ベースの構築、平行して進行中の研究開発情報の流通、他のプログラムにおいて役立ちそうなデータの収集などをおこなう。

3.1.1.5. 成果

単体チタン・アルミナイドの開発は、延性と靱性を有する合金開発と圧延技術開発の二点に重点がおかれている。アルファ-2合金については大量の板が作製されており、ガンマ・チタン・アルミナイドも板の圧延に成功している。

X-30では翼端、エンジン壁部他熱放射面には大幅に強制冷却構造を採用する。高い耐クリープ特性をもち液体水素冷却に適応した材料が必要とされる。高剛性のグラファイト繊維で強化した銅マトリックスの複合材料は良好な機械的性質と熱力学的特性をもつ。またベリリウムは低密度、高剛性、良熱伝導性を兼ね備えた素材として、検討に加えられている。現在これらの素材は高温での構造的な効率を高めるための研究が進められている。銅基複合材料のインゴットはスケールアップの段階であり、部品加工がおこなわれている。ベリリウムの粉末製造設備が稼働している。

他の大きな成果と利点は、チーム内そして関連産業界全体を通して速やかな技術トランスファがおこなわれたことである。その成果は多数の国防省関連のプロジェクトや技術会議に反映されている。こうした成果の分かち合いは、IRAD、試験結果、ワークショップを通してなされている。そして柔軟な計画策定やリソース・プールにも反映される。技術トランスファの例は、American Ceramics Society, American Society of Metals, American Institute of Aeronautics and Astronautics, DoD Metal Matrix Composite Conference, Society of American Materials and Processing Engineersなどの会議における発表も含んでいる。これらのNMASAPの成果は、軽量・高温強度の利点を活用する

副産物として、医療、自動車、民間航空機産業にも応用できる材料開発の基盤をもなす。将来の副産物は化学プロセッシングや重工業にも、より高温での処理を可能にする点で大きな寄与が期待される。このような応用は米国の世界市場における競争力の上でも必要とされる。たとえば、日本ではガンマ・チタン・アルミナイドのターボ・チャージャ・インペラーへの適用が試みられた。フランスでは戦闘機に耐熱複合材料のエンジン部品の実飛行試験がおこなわれている。

3.1.2. NMAPSAP におけるTi-Al系金属間化合物開発成果

以下に記述する開発成果は、NMAPSAPにおいて同コンソーシアムのチタン・アルミナイド開発グループの座長であるDhananjay D. Bhat らがAIAAに報告した内容にもとづくものである。

図3.2.に示したNMAPSAPの運営組織の中で、材料開発の実行に関する部分だけを抜き出したものが下图3.5.である。

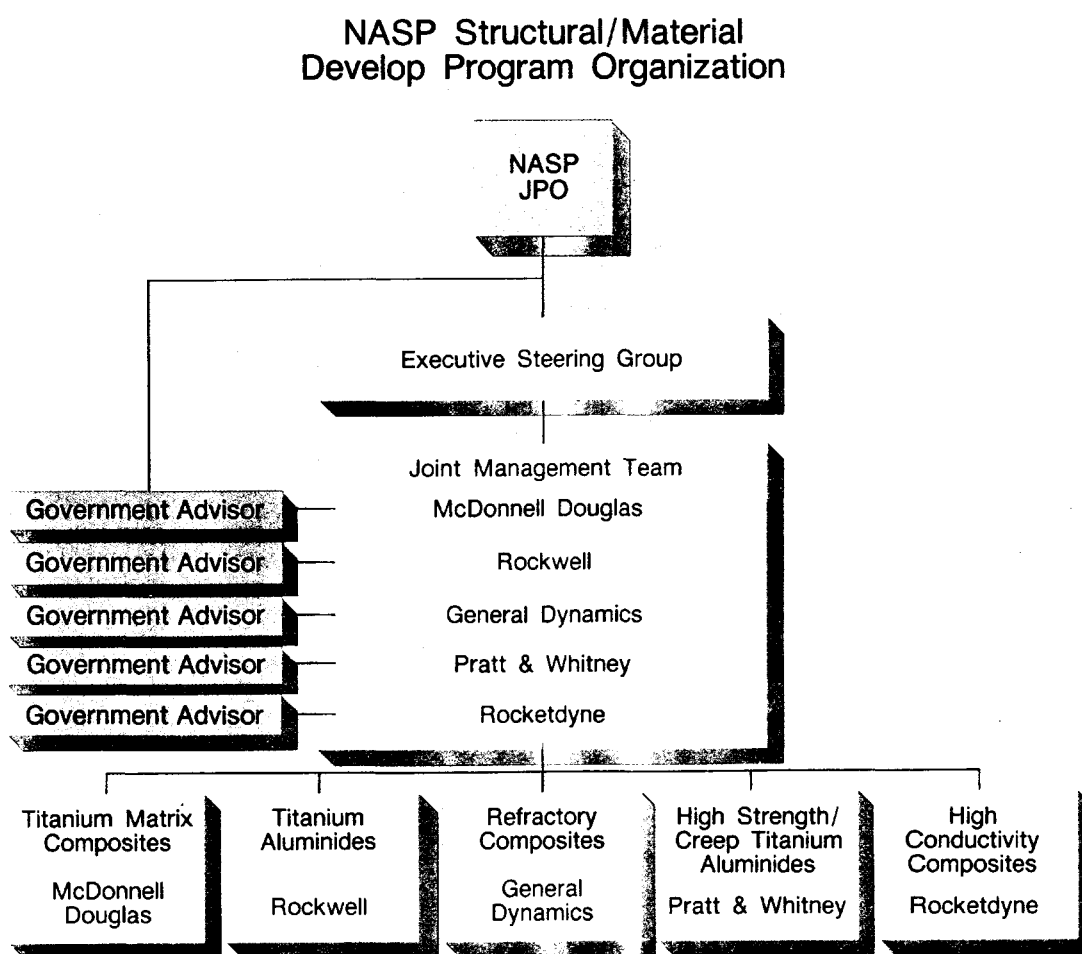


図3.5 NMAPSAPの組織

この組織の中で、チタン・アルミナイド関連の技術面のモニターを米国空軍のWright Research and Development CenterのWilliam Kerrが務め、Rockwell International社が研究開発を実行し、D. D. Bhattがそのグループを統括する。

3.1.2.1. チタン・アルミナイドの開発

構造材料として、1200°F(650℃)から1500°F(815℃)の範囲において、現在の商用チタンが強度と耐酸化性に不足し、超合金は重過ぎる。したがってこのような温度域で適当な物理的・機械的性質を備えた軽量材料が求められている状況にある。ガンマ・チタン・アルミナイドは荷重負荷状態で1500°F(815℃)、無負荷状態で1800°F(980℃)で使用可能な高温材料と想定されるので、この要求に適う素材として開発対象に取り上げられている。

ガンマ・チタン・アルミナイドは熱伝導性が良好で、かなり良い耐環境性をもつが、難加工性の欠点をもつ。したがって難加工性の克服が最初の課題となる。

チタン合金中で、アルミニウムは剛性を高め、そして固溶体強化よりも大きな強化効果が期待される。また密度の点からも、アルミニウムの合金化は有利である。三元系にTiAlNbやTiAlTaは、良好な高温での引張強度および耐クリープ破断強度そして耐酸化性をもつ。これらの合金についての問題は、室温での延性不足と引張特性の歪速度感受性である。組織制御により材質の改善が期待される。その最初のステップとして合金元素の選択がある。

NMAS AP計画の研究開発努力は、X-30向け材料としてのチタン・アルミナイドである。この材料による高性能、製造性、構造としての完全性、重量削減の実現が期待されている。時期に適う開発実行のために、マルチタスクの平行的なアプローチにより、最適合金組成の決定、一次および二次加工プロセスの開発と最適化、種々のコティングや応用技術の検討を進める体制を組んでいる。下図3.6.は、そのようなアプローチを示す。

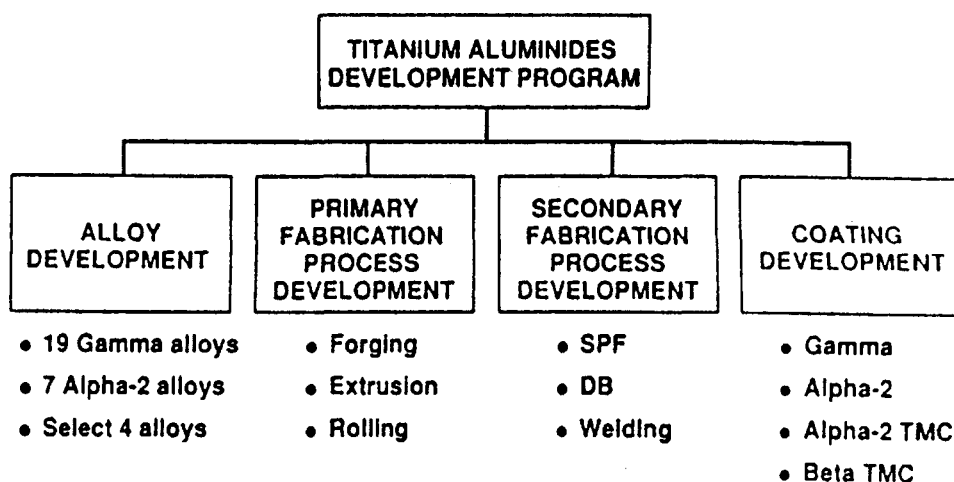


図3.6. チタン・アルミナイド開発促進のための平行的アプローチ

3.1.2.1. ガンマ・チタン・アルミナイドの開発成果

(1) 候補素材の選定

数種類の組成的・製法的に異なるガンマ・チタン・アルミナイドが調査された。それらは、急冷凝固(RSR)法で作製した3成分の粉末、プラズマ回転電極(PREP)法により作製した4成分の粉末、4種類の相混合材(2種のRSR+ α -2, 共に1種類のRSR+TiNbとRSR+super α -2), 7種のXDTM(Martin Mariettaプロセス)材, 1種類の在来方式鑄造材, および独自の新方式鑄造材2種類を含む。

(2) 主要な成果

ガンマ・チタン・アルミナイドの材料とプロセス開発両面で、以下に示すように、顕著な進展が得られている。

(2a) 鍛造技術

種々の鑄造および粉末ルートのガンマ・チタン・アルミナイド素形材を、いろいろの温度と歪み速度で恒温鍛造した。鑄造材の方は、粉末冶金材に比べて、かなり鍛造が容易である。図3.7.は新方式鑄造材のガンマ・チタン・アルミナイドを、既存の鍛造設備を用いてパンケーキ型に恒温鍛造した結果である。鍛造結果は割れ発生がなく、その他の点でも品質は健全であった。



図3.7. 新たに開発した鑄造材の恒温鍛造

(2b) 圧延技術の開発

圧延機メーカー数社で平行して圧延のトライアルを進めた。通常の炉で加熱したバックを冷間圧延ロールで圧延するバック圧延法をLawrence Aviation, RMI, およびTimet社において実施した。また、炉で加熱したバックと加熱したロールを用いて、恒温圧延に近い条件での温間圧延をBattelleにおいておこなった。Texas Instruments社はTIGER^Rプロセスによって、圧延中にその場でバック加熱する方法を用いて試験をした。さらに別個にMartin Marietta社は、同社のXDTM合金を対象にして、通常のバック圧延と疑似恒温圧延を実施した。これらのプロジェクトに採用候補のプロセス全体を見渡して、36インチ幅のガンマ・チタン・アルミナイドを圧延するという最終目標を達成する上で、困難性は低減されている。

現在までに、0.050" X 15" X 27"のガンマ・チタン・アルミナイド板を、Battele研究所の開発した疑似恒温圧延法により圧延することができるようになっている。{なおこのBattele研究所の開発した圧延法については後で紹介する}

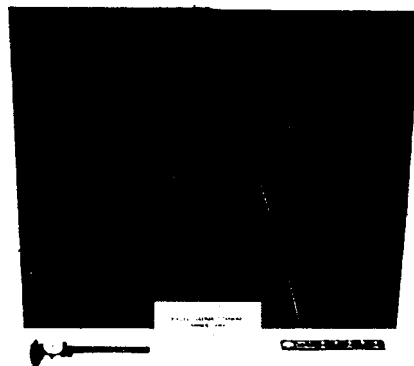


図3.8. 疑似恒温圧延装置と試作品

(2c) 超塑性加工／拡散接合

ガンマ・チタン・アルミナイドは超塑性加工と拡散接合が比較的困難である。しかし適切な加工熱処理工程の採用により、合金を微細等軸粒組織とすることができるならば、それらのプロセッシング温度は低減できる。また最大の歪速度感受性パラメーター(m 値)に対応する最適な温度と歪速度条件を開発し、キャビティー発生や早期破断を防止する対策を講じる必要がある。図3.9.はプラズマ・スプレーしたガンマ・チタン・アルミナイド合金の m 値温度依存性を示す。0.4以上の m 値が超塑性状態と定義されている。さらにガンマ・チタン・アルミナイド合金を2100°F(1150)程度の低温で拡散接合が可能であることも見いだしている。

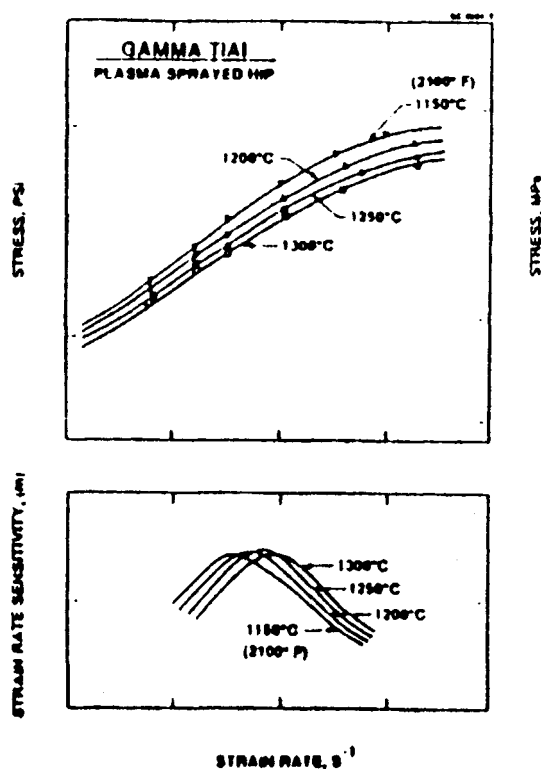


図3.9. ガンマ・チタン・アルミナイドの m 値

(2d) 溶接

数種類の溶接技術の中で、ガンマ・チタン・アルミナイドにはレーザービーム溶接が最も魅力的である。図3.10.にレーザービーム溶接法の特徴と利点を示す。溶接条件は試験

片レベルで解明されている。炭酸ガス・レーザービームの形状の影響も評価されている。ガス溶接したガンマ・チタン・アルミナイドは、高い(～15 psi)引張残留応力を示す。溶接材の延性を高め、空隙を低減するためにフィラーメタルを用いる検討が進んでいる。また材料の予加熱と後加熱の効果も調べられている。図3.11.には小試験片での成功例が示されている。

- High welding speed
- Low thermal distortion
- Weld without filler metal
- Weld in any atmosphere

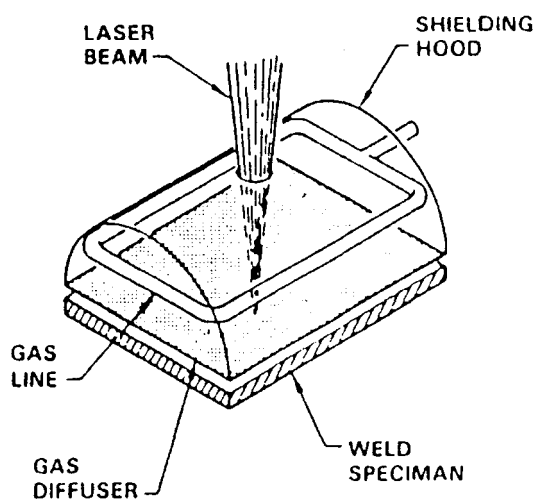


図3.10. ガンマ・チタン・アルミナイドに適したレーザー溶接法

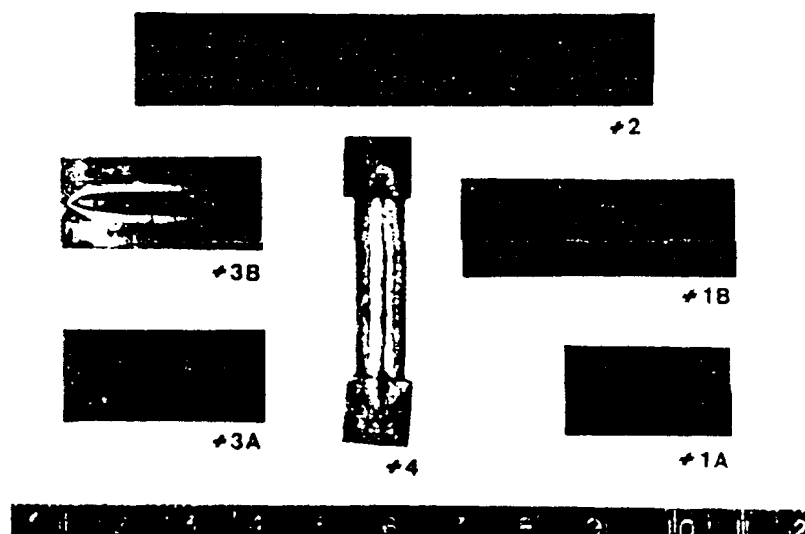


図3.11. ガンマ・チタン・アルミナイド小試片の溶接

(2e) コーティング

種々の材料やプロセスについて、機能可能性や限界が突き止められている。主たるコーティング材料には、ガラス、アルミナ、アルミナ形成物、その他表面処理用材料が含まれている。可能性のあるコーティング・プロセスには、エアブラッシ、ゾルゲル、化学的蒸着、物理的蒸着、D-ガン、スプレー拡散、電気メッキ、プラズマ溶射、イオン注入などが挙げられる。図3.12.は開発対象のコーティング方法をまとめたものである。また図3.13.に示すように、ガンマ・チタン・アルミナイドを、室温から1800°Fの間で熱サイクルを加えて1800°Fに2時間保定後で室温に冷却するという履歴を12回繰り返した結果であり、ガラス被覆が熱サイクル下の酸化防止に有効であることが示されている。

COATING	APPLICATION PROCESS
SERMALLOY W/J	SPRAY AND FUSE OR SLURRY AND FUSE (HEAT TREAT)
PACK/CVD Al	VACUUM PACK, CHEMICAL VAPOR DEPOSITION (CVD)
Ti CrAlY	PLASMA SPRAY OR PHYSICAL VAPOR DEPOSITION (PVD)
Sn-Al-Si	SPUTTER OR DIP
SOL GEL ALUMINA	SOL
ALUMINO SILICATE GLASS	SOL
BORO SILICATE GLASS	SLURRY AND FUSE
CORNING GLASS	PROPRIETARY
Al Si B _x	PVD/CVD
SILICIDE	CVD
NOBLE METALS	PVD OR ELECTROPLATE
Pt-Al	ELECTROPLATE AND CVD
ION IMPLANTATION	ION BEAM ENHANCED DEPOSITION OR ION BEAM MIXING

UNCLASSIFIED

図3.12. コーティング方法の開発対象

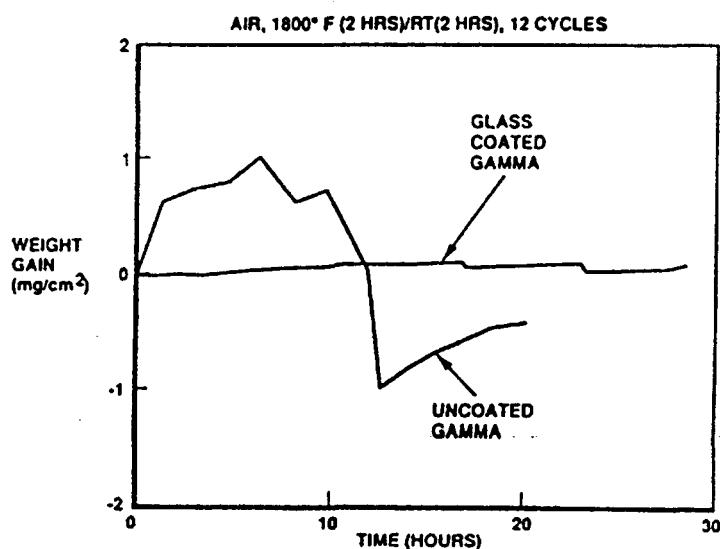


図3.13. ガンマ・チタン・アルミナイドのガラス・コーティング

(2f) 機械的性質

ガンマ・チタン・アルミナイドの機械的性質は加工熱処理条件に大きく依存している。ガンマ合金のスクリーニング過程で、最適な条件で処理したものではないが、候補材について機械的性質の試験を実施した。その結果は必要な特性バランスを満足していない。図3.14.はその代表例を示している。二種類のガンマ合金については、所要の引張特性と破壊特性に近いところに到達している。図3.15.はそのような合金について、試験温度による強度変化を示したものである。

ALLOY	ROOM TEMPERATURE TEST						1500°F TEST		
	E* (MSI)	Fcy Fly (KSI)	Ftu (KSI)	%E	RHO LB/IN ³	KIC	E* (MSI)	Fcy Fly (KSI)	Ftu (KSI)
1 ALLOY 1.1 (RSR) Ti-48Al-2.5Nb-0.3Ta-0.15B	26.4	108.0	117.0	0.75	0.144	7.5	27.0	19.6	99.0
2 ALLOY 1.2 (RSR) Ti-48Al-3Nb-1Ta-0.15B	25.0	78.3	81.0	0.8	0.146	7.5	20.6	59.4	74.7
3 ALLOY 1.3 (PREP) Ti-48Al-2.5Nb-0.3Ta-0.15B	26.4	79.8	83.5	1.8	0.144	12.0	22.0	44.1	60.3
4 ALLOY 1.4 (PREP) Ti-48Al-2Nb-1Mn-0.15B	27.7	57.4	65.8	2.0	0.146	13.0	23.3	38.7	49.5
5 ALLOY 1.5 (PREP) Ti-48Al-2Ta-0.15B	24.96	87.0	87.9	1.42	0.151	10.0	20.6	51.6	65.6
6 ALLOY 1.6 (PREP) Ti-48Al-2V-2Ta-0.15B	26.4	87.8	88.8	1.1	0.151	9.0	22.0	47.7	67.5

*SONIC MODULUS

図3.14. ガンマ・チタン・アルミナイド機械的性質

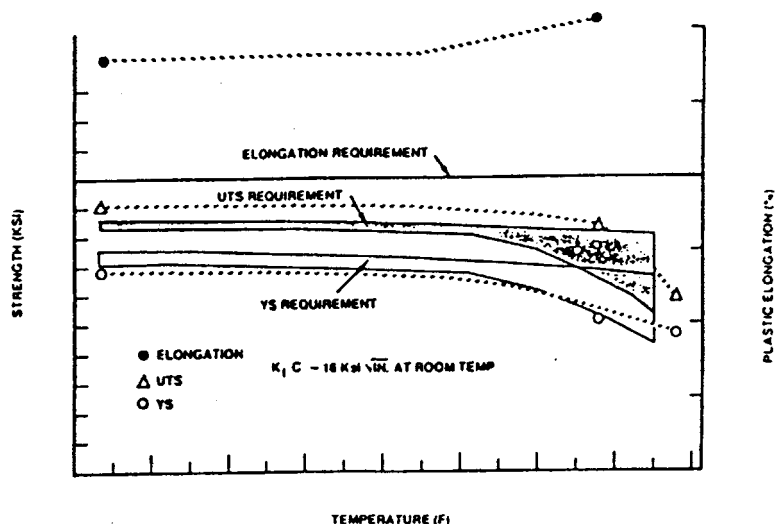


図3.15. 有望なガンマ・チタン・アルミナイドの機械試験データ

3.1.2.2. アルファ-2・チタン・アルミナイド

アルファ-2・チタン・アルミナイドは中間的温度での適性をもち、荷重負荷状態で1350°F、無負荷状態で1500°Fで使用可能と考えられる。熱伝導性はより小さく、耐環境性は乏しい。

(1) 候補のアルファ-2・チタン・アルミナイド合金

合計7種類のアルファ-2・チタン・アルミナイド合金が調べられている。全ては鑄造材である。この調査目的は現存のアルファ-2合金よりも、高い破壊靱性をもつ合金を開発することである。アルファ-2・チタン・アルミナイド合金の材料とプロセス開発に、以下のように、大きな進歩が得られている。

(2) 一次加工プロセス

全ての合金は溶解鑄造し、恒温鍛造した。選択された合金は既存の圧延方法で、板に圧延された。それらの薄板について、機械的性質を評価した。現存の設備を使用して、36インチ幅、96インチ長の板が製造可能である。

(3) 機械的性質

アルファ-2・チタン・アルミナイド合金は二種類の熱処理条件で評価された。合金は熱処理条件1では等軸粒組織、熱処理条件2では変態アシキュラー組織を呈する。等軸粒組織の合金(熱処理条件1)の延性と破壊靱性値は、変態アシキュラー組織の合金(熱処理条件2)よりも著しく良好である。このように変態アシキュラー組織の合金は延性に乏しいために、候補からは除外された。

全ての試験結果を図3.16.に掲げた。試験項目は引張特性、破壊靱性、剛性率、クリープ破断、密度である。シリコン添加、無添加の14Al-26Nb合金は4ないし4.5%の伸びを有する。モリブデン添加では2%以下の伸びとなる。合金の強度はシリコン、モリブデン添加でいずれも増加するが、シリコン添加だけが最良の強度と延性の組み合わせをもたらす。高温での試験結果も同様な傾向を示す。

破壊靱性試験はASTM-39に準拠したA-3曲げ試験片から採取されている。14Al-26Nb合金は最高の破壊靱性値($30\text{ksi}\cdot\text{inch}^{1/2}$)を示した。その他の合金の破壊靱性値はほぼ同じで、 $20\text{ksi}\cdot\text{inch}^{1/2}$ 程度であった。

クリープ破断特性も図に示されている。ベータ熱処理を施した材料が最も良い耐クリープ性をもつが、この状態の合金はほとんど延性を示さない。一方アルファ熱処理材はクリ

ープ特性が悪い。モリブデンとシリコンの添加は顕著な改善をもたらすが、それでもまだかなり低い。

Alloy (wt %)	Density (lb/in. ³)	Heat Treatment	Test Temperature (°F)	Yield (ksi)	Ultimate (ksi)	Elongation (%)	Dynamic Modulus (ksi)	Fracture Toughness (ksi√in.)	Stress Rupture (hr 55 ksi/1,200°F)
Ti-14 Al-26Nb	0.17	1	Room temperature	79.9	92.9	4.5	11.1	30	11
			800	—	94.8	14	—	—	—
			11,200	49	77	22	—	—	—
			11,350	—	61.6	26	—	—	—
			11,500	17.5	44.4	53	—	—	—
		2	Room temperature	76.3	106.6	0.5	—	16	89
			800	54.7	70.8	—	—	—	—
			11,200	49	77.5	—	—	—	—
			—	—	—	—	—	—	—
			—	—	—	—	—	—	—
Ti-14 Al-26Nb-1Mo	0.171	1	Room temperature	106.8	109.3	1	13.2	21	22
			800	81.8	108.6	6	—	—	—
			11,200	71.8	92.2	9	—	—	—
			11,350	46	77.6	—	—	—	—
			11,500	25.3	55.5	60	—	—	—
		2	Room temperature	—	59.4	—	—	19	106
			800	—	55.8	—	—	—	—
			11,200	—	—	—	—	—	—
			—	—	—	—	—	—	—
			—	—	—	—	—	—	—
Ti-14 Al-26Nb-0.25Si	0.17	1	Room temperature	96.8	108.8	4	11.1	22	25
			800	75.8	110.9	12	—	—	—
			11,200	64.7	106.2	15	—	—	—
			11,350	35.5	69	23	—	—	—
			11,500	21.2	52.8	96	—	—	—
		2	Room temperature	66.9	73.8	—	—	16	49
			800	46.7	84.8	—	—	—	—
			11,200	56.2	70.2	—	—	—	—
			—	—	—	—	—	—	—
			—	—	—	—	—	—	—
Ti-14 Al-26Nb-0.25Si-1Mo	0.171	1	Room temperature	107.3	121.6	2	14	23	41
			800	86.9	115.7	6	—	—	—
			11,200	79.7	101.4	—	—	—	—
			11,350	—	—	—	—	—	—
			11,500	24.4	55.4	60	—	—	—
		2	Room temperature	—	55.5	0	—	17	101
			800	68.4	77.1	—	—	—	—
			11,200	66.3	67	—	—	—	—
			—	—	—	—	—	—	—
			—	—	—	—	—	—	—

図3.16. アルファ-2・チタン・アルミナイドの機械的性質

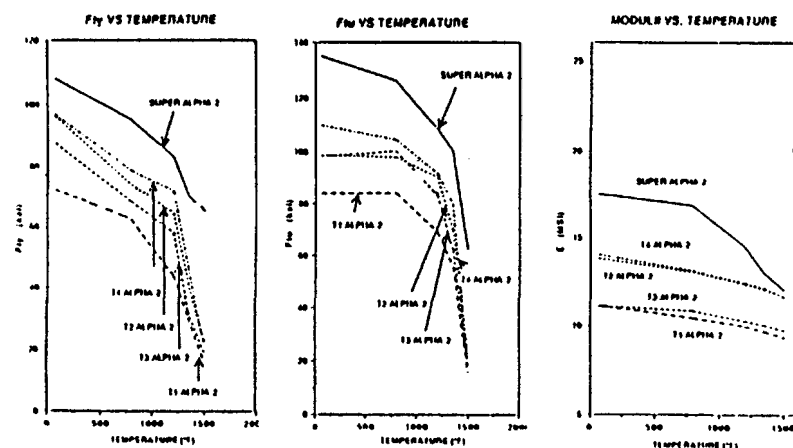


図3.17. スーパーアルファ-2合金の機械的性質

この結果をPratt & Whitneyが開発したスーパーアルファ-2合金と対比して示したのが、図3.17である。図からわかるように、全試験温度範囲でスーパーアルファ-2合金が

最高の特性をもつ。したがって、研究開発はスーパーアルファ-2合金だけを対象に進められた。しかしスーパーアルファ-2合金は望ましい特性を保証するには、使用前に適切な熱処理を必要とする。図3.18はスーパーアルファ-2合金の熱処理条件依存度を示す。

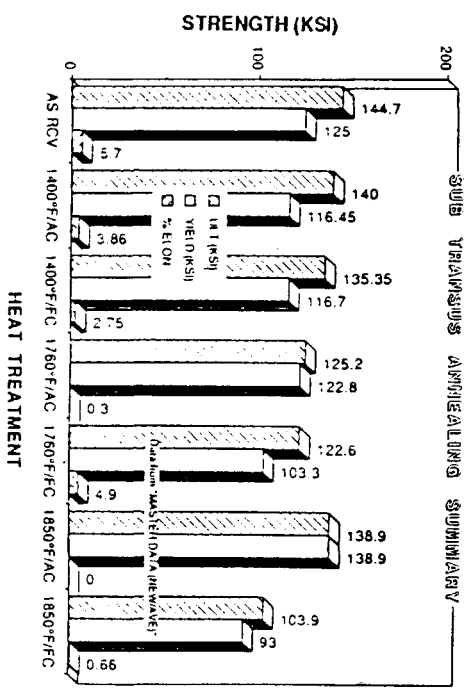


図3.17. スーパーアルファ-2合金の熱処理条件

(4) 二次加工プロセス

スーパーアルファ-2合金の二次加工プロセスには顕著な進歩がみられている。現在、通常の工具を用いてスーパーアルファ-2合金を日常的に機械加工できる(図3.18)。さらに超塑性加工／拡散接合(SPF/DB)法で、全尺の三枚板トラスコアパネル(30"・80")を作製できる(図3.19)。また超塑性加工／拡散接合について、化学研削により汚染を除き、選択的に厚みを減らせる技術にも成功している(図3.20)。それらの部材のレーザー溶接の技術も開発されている(図3.21)。



図3.18. スーパーアルファ-2合金の機械加工例



図3.19. スーパーアルファ-2合金の超塑性加工／拡散接合例(30''・80'')

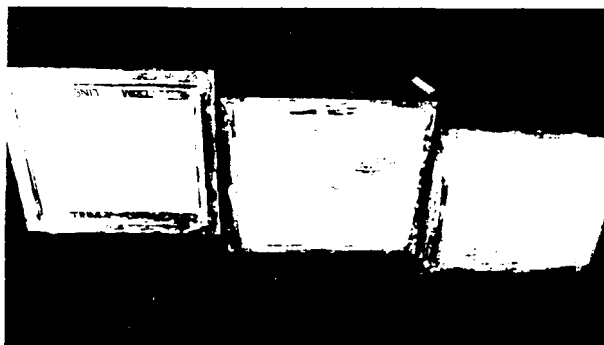


図3.20. スーパーアルファ-2合金の化学的研削加工例(28''・28'')



図3.21. スーパーアルファ-2合金のレーザー溶接例

3.1.2.3. NMAP開発のまとめ

従来の研究開発は、次のようにまとめられる。

ガンマ・チタン・アルミナイド

ガンマ・チタン・アルミナイドは好ましい可能性をもつ

有効なデータ・ベースが整備された

クーボンサイズでのプロセッシングが立証された

バランスのとれた特性の合金はまだ実現されていないが、有望な合金は見つかっている

プロセッシングに関する理解が必要である

アルファ-2・チタン・アルミナイド

熱処理により熱的安定性が付与できる

コーティングにより耐環境性が向上できる

超塑性加工／拡散接合法および溶接技術が立証された

大型の超塑性加工／拡散接合構造が加工できる

スーパー・アルファ-2合金は今後スケールアップした開発が必要である

3.1.3. IHPTET計画

IHPTET (Integrated High Performance Turbine Engine Technology) 計画は米国政府の主導し、将来のエンジンの要求に応える技術を開発するために進められているプロジェクトである。この計画には、陸軍、海軍、空軍、NASA、そしてDARPA (Defence Advanced Research Projects Agency)が参加している。

この計画には、米国政府が資金提供するガスタービン関連研究のほとんどすべてが含まれている。目標は推進系の能力を、今世紀末に二倍に高めることである。これを言い換えると、推力/重量比を二倍にすることに相当する。計画では、30、60、100%の改善を目指す三段階で進められる。図3.22.は現在のエンジン構成材料と今後の見通しをIHPTET計画との関連で示したものである。

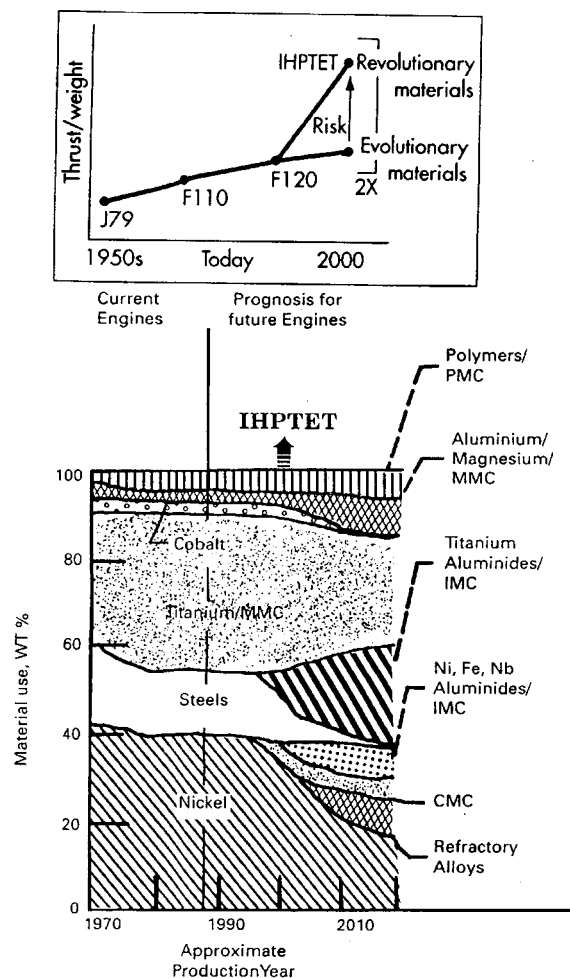


図3.22. IHPTET計画

IHPTET計画の第一段階では、集積ブレード付きローターの開発が主体であり、材料的進歩は必要としない。第二段階では、材料開発が求められ、金属基複合材料やチタン・アルミナイドに焦点が当てられる。第三段階で、より高温の耐熱材料のセラミックスや炭素複合材料など材料全範囲にわたり、全システムの確立に当たる。図3.22.に示されるように、材料開発面で革新的な進歩が求められている。

この計画には、米国の六つのエンジン・メーカー、Allison, Garrett, General Electric, Teledyne CAE, Textron Lycoming, United Technologies Pratt and Whitney and Williams Internationalが関与している。これらの他に材料供給者や部品メーカーが加わっている。

3.1.3.1. IHPTET計画におけるチタン・アルミナイドの開発

図3.23.は、チタン・アルミナイドがエンジン部材として考慮されている個所を示している。これらのいくつかについて、部品加工の立証試験が進められている。

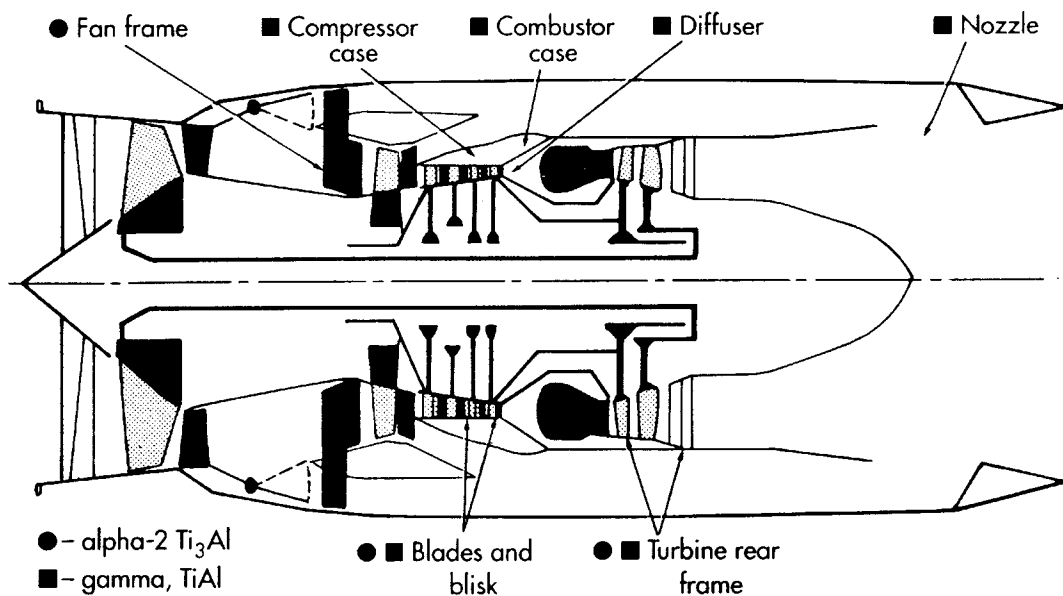
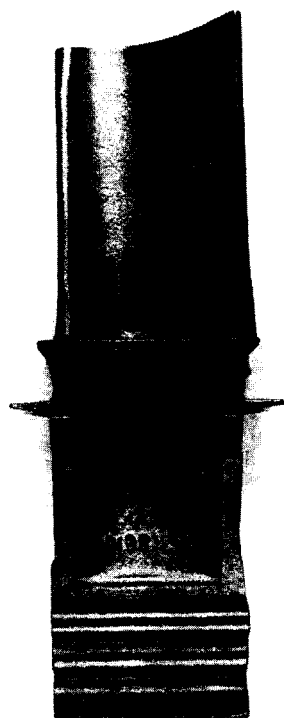


図3.23. チタン・アルミナイドのエンジン系への適用

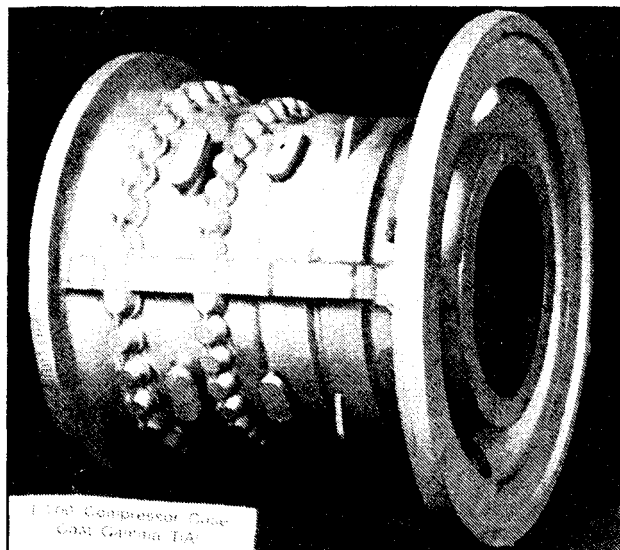
現在までにおこなわれたチタン・アルミナイドのエンジンへの適用試験の状況を図3.24.に、およびそれらの試作品の例を図3.25.に示した。

材料	エンジン	部品	製法	開発メーカー	製品写真
Ti3Al	F100	アフターバーナー・ノズルシール コンプレッサー・ケーシング	超塑性加工+拡散接合 圧延+機械加工	圧延：Timet 製造：Rockwell	
Ti3Al	F404	エグゾースト・シール	超塑性加工+拡散接合	GE	
Ti3Al	GE29	ヴェーン支持リング 燃焼器保炎器 支持リング	リング圧延+機械加工 精密鑄造 圧延	GE	
Ti3Al	E ³ エンジン	テールコーン部品 外側パイプ		NASA	
Ti3Al	小型タービン	コンプレッサー・ローター	粉末冶金	Crucible	
Ti3Al		コンプレッサー・ローター	粉末冶金	Nuclear Metals	
TiAl	JTD9D	タービン・ブレード	精密鑄造		
TiAl	E ³ エンジン	低圧タービン・ブレード		NASA	
TiAl		コンプレッサー・ローター	粉末冶金	TRW	
TiAl	CF6	一段タービン・ブレード	精密鑄造	GE	図3.25.a
TiAl	T-700	コンプレッサー・ケース	精密鑄造	GE	図3.25.b
TiAl		ミサイル・フィン	粉末冶金(XD)	Howmet	図4.1.
TiAl		低圧タービン・ブレード	粉末冶金, 鍛造	ロシア	図3.25.c
TiAl		ローター		Crucible	図3.25.d

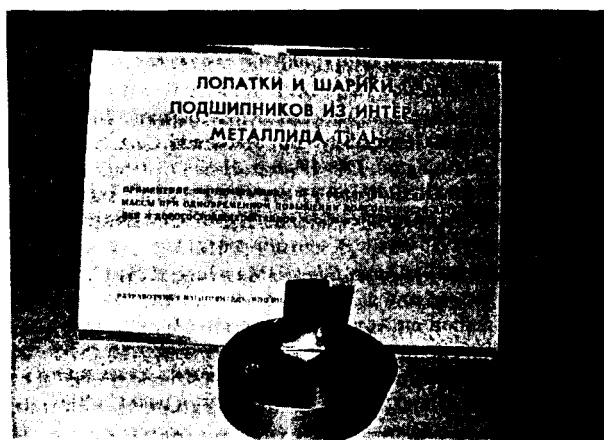
図3.24. チタン・アルミナイドのエンジン部品試作例



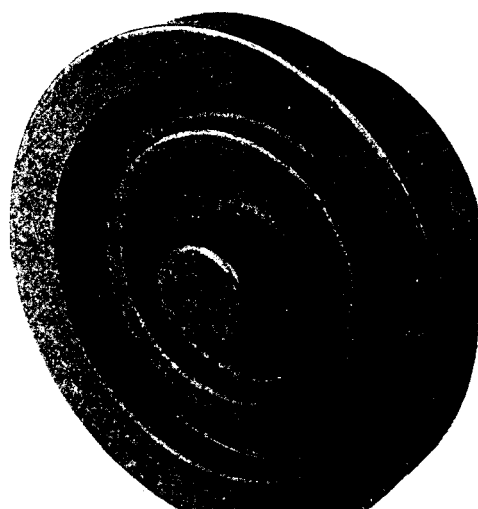
a.



b.



c.



Crucible Research
A Division of Crucible Materials Corporation

d.

図3.25. チタン・アルミナイドのエンジン部品試作例(図3.24参照)

3.1.4. エネルギー省による研究開発

以上の研究開発活動とは別に、エネルギー省の所管する金属間化合物の基礎的な研究開発活動が存在する。この研究はエネルギー省(US·DOE)のDivision of Materials Science (DMS)から資金が提供される。研究活動は理論的研究から実験研究の幅広い範囲をカバーしている。

この種の研究において単結晶を使用した調査の必要性が強く認識され、その製造法の確立が第一ステップであった。Ames Laboratory において単結晶の製造技術が確立できて、15mm径、75mm長の大型結晶が供給できるようになっている。

DMSプロジェクトの活動中心はOak Ridge 国立研究所で、理論と実験両面で種々のアルミナイドの研究が進められている。

金属間化合物の合金理論はLawrence Berkley Laboratoryで展開されている。機械的性質の基礎的検討も平行しておこなわれている。

さらに、エネルギー省から大学への委託研究も広範に進められている。

Dartmouth大学のIan Bakerは、B2化合物のHall-Petch関係と破壊機構を研究している。

MITのS. M. AllenはLaves相のすべり、双晶、変態をテーマに、Laves相の可能性を探索している。

粒界破壊と結晶粒界におけるすべりに関する研究はDartmouth大学のE. M. Schulsonによって進められている。

結晶粒界の理論的、実験的研究はCornell大学のS. L. Sassが中心である。

合金や金属間化合物の結晶粒界の原子論的な研究はPennsylvania大学のV. Vitek によっておこなわれ、種々の材料についてコンピュータ・シミュレーションを用いた研究が進められている。

金属間化合物の微視的な解析はPittsburgh大学のS. S. Brennerらの研究課題であり、 Ni_3Al におけるボロンの役割などの解析がなされている。

規則化金属間化合物における放射誘起不規則化、延性、相変態はUCLAのA. J. Ardellにより推進されている。

Conneticut大学では、マルテンサイトの核生と成長の整合性モデルがP. C. Clappを中心に実施されている。

Conneticut大学では、別にシンクロトロン放射光を用いた研究が進められている。研究はJ. I. Budnikの指導でおこなわれ、遷移金属のアルミナイドについてEXAFSによる局所構造の解析から微量第三元素の役割が調べられている。

多軸応力下での高温破断機構の解明は、カリフォルニア大学(Irvine)で進められている。これは比較的新しいテーマであり、実験研究が熱心におこなわれている。

このようにエネルギー省によって、幅広い金属間化合物の研究が支援されている。その研究活動範囲は相平衡や試料作製からとくに粒界効果を重視した種々の機械的性質の測定に及んでいる。総てのプロジェクトの焦点は、金属間化合物に相当の延性を付与する機構そして高延性をもたらす変形機構を理解することである。

3.1.5. 米国重要技術報告書における金属間化合物研究

1991年に米国政府が議会に報告した「米国重要技術報告書」(Gaining New Ground: Technology Priorities for America's Future)では、米国が優位を維持すべき22の重要技術項目を選択して戦略的研究開発の強化を呼びかけている。報告書は(ブッシュ)大統領科学技術顧問が任命したメンバーで構成された委員が作成し、米国の経済的繁栄と安全のために重要な技術が選択・分析されている。

この報告の論点の中心は、「技術それ自体で経済的繁栄や国家安全保障を約束するものではない。技術は革新的で高品質、価格競争力のある製品開発に効率的に使われてこそ役立つ。米国は強力な科学的基盤を保持する一方で、その知識を想像力たくましく開拓していかなければならない」という主張である。そして「米国が将来の競争で成功をおさめるには、産業界の市場での競争のやり方を抜本的に改めねばならない。つまり、米国の研究機関、産業界は新技術の展開にもっと重点をおく必要がある。さらに発見から開発、応用に至るまでを統合的に進めるべきである」と訴えている。さらに重要技術選定の観点として、「新製品を生みだし、それを生産する工程を重視した。これは製造工程や製品設計、性能、品質、それにコストを総合的に考慮することにつながる。．．ここに採用された技術の多くは、他の重要技術の実現を左右する。．．材料の技術は他の新技術の開発に欠かせない」とされている。今後この報告書の内容に沿った強化策が講じられるものと考えられる。

報告書には、その技術項目の選択理由と国際動向が述べられている。その重要開発項目として高性能金属・合金が挙げられ、その中に金属間化合物が含まれている。その重要技術開発項目に選択されて理由と(米国)国外の開発状況を展望した部分で、金属間化合物に関連した所を以下に記す。

3.1.5.1. 重要技術開発項目の高性能金属・合金

高性能金属や合金の中で、最も将来性があると考えられるのが、

- (1) 軽量で強度のあるアルミニウム・リチウム合金、
- (2) 従来の金属よりも宇宙などの特殊環境条件に強い金属系複合材料、
- (3) 耐熱性で格段に優れている金属間化合物、

である。

(1) 重要技術開発項目に選択の理由

最先端の高性能金属と合金は、次世代の航空機や宇宙構造物利用システムの実現に欠かせない。航空機分野で世界にトップを維持するためには、高性能金属と合金で抜きんでている必要がある。

高性能の金属系材料は航空機分野への応用をめぐって、セラミックスや高分子系複合材料と競合している。アルミニウム・リチウム合金はその一つで、航空機の構造材として一部で利用されはじめている。90年代半ばには、従来使用されているアルミニウム合金とコスト的にも競争力をもつと予想される。

高コストの金属系複合材料は、将来も利用分野が限定されるであろう。実用の鍵となるのは、宇宙分野であり、放射線や真空に強いことが求められる。またロケットエンジンなどへの適用も可能性がある。

(2) 国際動向

日本や欧州主要国は高性能金属で米国に対抗してきている。ドイツ、フランス、英国は研究の活性化を進めている。

フランスは、次世代のエアバスに適用するアルミニウム・リチウム合金の主要供給国を狙っているが、米国よりも技術面で遅れがあって生産上の問題をかかえている。

ドイツには、金属間化合物を超音速機に利用する計画がある。

英国は耐熱性に優れたチタン合金とアルミニウム合金の開発に力を入れている。

日本は超合金技術で米国に近づいてきている。金属間化合物では主たる開発者となっている。日本の製鉄会社数社は、経営多角化の一環として新金属材料の開発に力を注いでいる。新日本製鉄はチタン・アルミナイド金属間化合物の開発で一級的能力がある。日本はアルミニウム・リチウム合金にも取り組んでいるが、ここではトップクラスから遅れている。

日本は航空宇宙以外の分野で、金属系複合材料の市場開拓に取り組んでいる。スポーツ用品向けの金属系複合材料の市場に参入し、自動車産業もアルミニウム基金属系複合材料のエンジン関連部品への応用で進んでいる。

米国企業は、用途を軍事用や航空宇宙分野に限定しており、新しい民生用の応用分野開拓の努力を怠っている。

3.2. ドイツにおける研究開発

旧西独においては、1985年より金属間化合物(相および合金)の研究プログラムが進められてきた。この活動では、金属間化合物の基礎的研究促進と新材料開発着手とを狙った。対象材料として、 Ni_3Al と Ti_3Al は中心からはずされている。その理由は両者ともに米国で開発が進んでおり、また Ni_3Al の可能性は超合金との関連で限定され、 Ti_3Al は TiAl と比較して利点が乏しいからである。

これらの活動の当初の目的は、新しい材料開発の可能性を発掘するために、クロム、アルミニウム、シリコンとの種々の化合物についてスクリーニングをおこなうことであった。開発目的は、一方で、低密度が最大の要求となる新しい軽量材料の開発であり、他方では、高温強度とクリープ強度ができるだけ大きな、 1000°C 以上で使用可能な耐熱材料である。従来の研究で有望な素材が見いだされつつあり、対象は絞られてきている。それらの候補材料は二相合金である特徴をもっている。

このような最初のプロジェクト成果をふまえ、そこで選択された金属間化合物の応用を目指して、新しいプログラムが発足している。

有望な軽量合金として、高温用途にチタン・アルミナイドが取り上げられている。とくにガンマ・チタン・アルミナイド基合金に少量のアルファ-2が混在するもの、および微量のクロム、マンガン、ニオブ、シリコンを添加したものが、タービンやターボチャージャー部材として、さらに超音速航空機(Sanger Project)の機体や遮熱材のような構造用途に可能な材料と見做されている。

また、 $\alpha\text{-}2\text{-Ti}_3(\text{Al}, \text{Si})$ [D0₁₉]と $\text{Ti}_5(\text{Si}, \text{Al})_3$ [D8₈]を基本とする二相合金が、ガンマ・チタン・アルミナイドよりも優れた高温特性を示す素材として有望視されている。この合金はニオブの添加により、耐酸化性の著しい向上が認められ、 1000°C までのタービンへの適用可能性がある。

これらのプロジェクトは産業界と協同で行なわれている。基礎的研究機関として、GKSS研究センターの材料研究所およびHamburg-Harburg工科大学の材料科学・工学科が参加している。他に、デュセルドルフのMax-Planck鉄鋼研究所がガンマ・チタン・アルミナイドの開発を進めている。

3.2.1. 成果のまとめ

3.2.1.1. ガンマ・チタン・アルミナイド

(1) スクリーニング

化学量論比組成TiAl近傍の高温相のデータ不足に考慮して、状態図の作製を進め、同じ頃に進められた他の研究者らと同様な結果を得ている。

二元合金としての機械的性質はTi-48Alが最も良好であることが確かめられた。第三元素合金成分として、クロム、マンガン、ヴァナジン、ニオブ、シリコン、炭素の調査が進められた。その中で、Ti-46Al-1Cr-0.2Si系がとくに優れた特性を示し、室温伸び4%が得られた。その結果をふまえて、新しい産業界との共同研究プログラムでは、Ti-48AlとTi-48Al-2Crの系から出発した。

(2) 鑄造材のスケールアップ

上記候補合金の試験が効率的におこなえるように、約18cm径で重量100kg以上の鑄塊を作製可能にした。これは1220℃のHIP処理でポロシティ圧着する。

鑄造材に適用する加工熱処理の条件も、得られる組織と機械的性質との関係で詳しく調べられている。一般的に言えば、球状の均質組織は等方的性質を示し、圧延や鍛造などの後工程には有利である。構造材料用途には、層状組織を含むように改質する必要がある。これにより耐クリープ性は向上するが、延性は劣化する。

3.2.1.2. $Ti_3(Al, Si)$ と $Ti_5(Si, Al)_3$ を基本とする二相合金

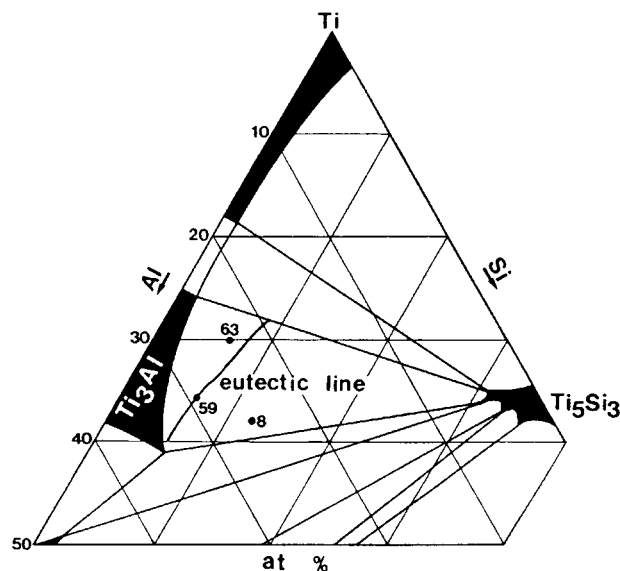


図3.26. Ti-Al-Si系(1200℃)

米国ではスーパーアルファ-2合金が一つの到達点として認められている。これをさらに上回る高温特性を目標に開発されたのが、アルファ-2合金Ti₃(Al, Si) [DO₁₉]を基本として、Ti₅(Si, Al)₃ [D8₈]を分散した二相合金である。Ti₅Si₃自体は高融点(2130℃)でありかつ低密度という魅力ある性質をもつが、単相合金としては脆くて実用に耐えない。しかしタンあるいはアルファ-2合金をマトリックスとする二相材料とすると、好ましい性質を発揮する。

第一段階で三元Ti-Al-Si系の検討をおこない、図3.26.のように、Ti₃(Al, Si)とTi₅(Si, Al)₃の共晶領域が決められた。この共晶組織は、Ti₃(Al, Si)のマトリックス中に微細針状のTi₅(Si, Al)₃が埋め込まれた組織になっている。この合金の曲げにおける降伏応力と破断伸びの温度依存性を図3.27.に示した。アルファ-2合金に比べて、TSA(Ti-6.5Si-20～30Al)合金は中温域で高い強度をもつことがわかる。

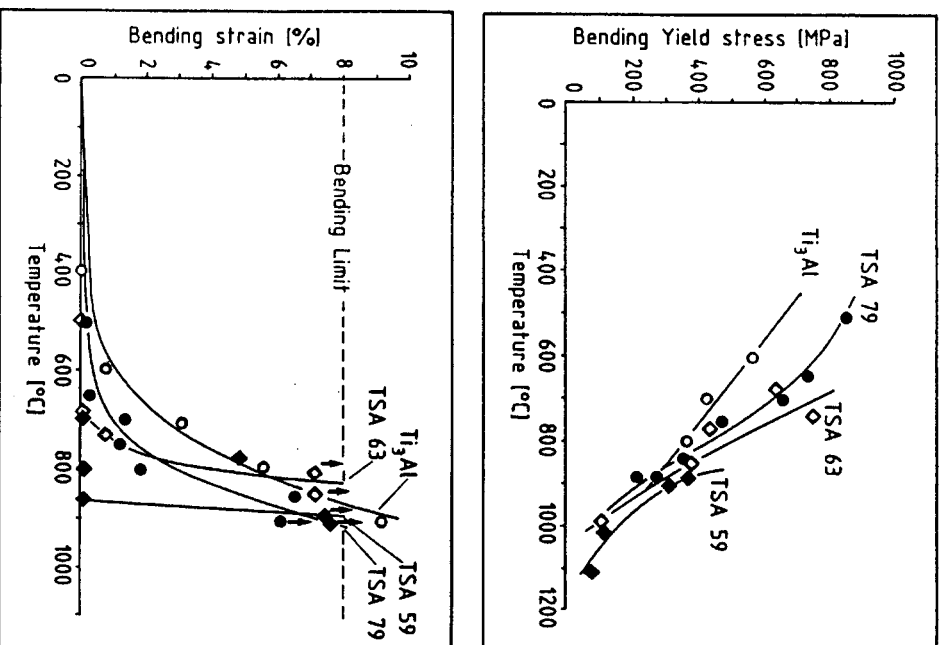


図3.27. Ti-Al-Si合金の機械的性質

この二相合金は耐酸化性が不足している．その対策としてニオブ添加が有効である．図3.28.はニオブ添加による耐酸化性の改善効果を示す．前の図3.27.にあるTSA63(Ti-6.5Si-23.5Al)にニオブを5%(A63-2), 10%(A63-3), 15%(A63-4)添加した材料について, 850℃における酸化試験結果である．

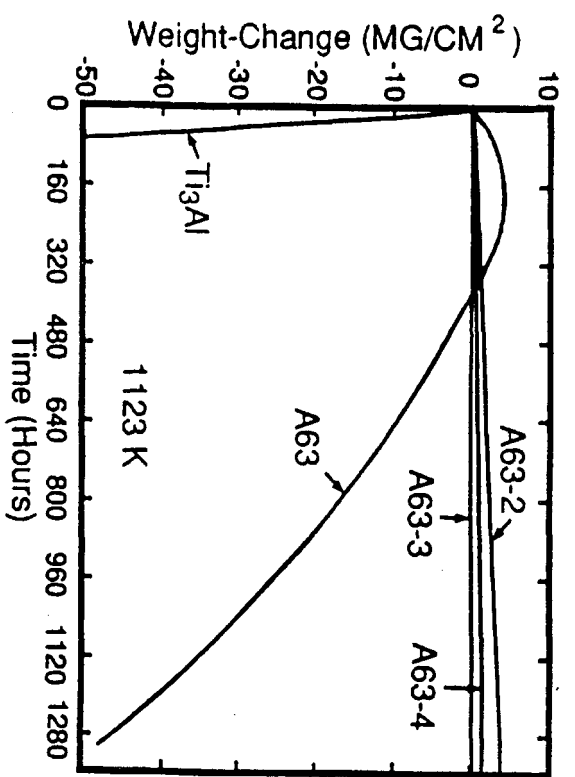


図3.28. Ti-Al-Si-Nb合金の空气中繰り返し酸化試験

3.3 英国における研究開発

英国における金属間化合物の研究は、Oxford, Chambridge, Imperial Collegeにおいて基礎的に進められている。実用化を目指した研究開発の中心はBirminghamとSwanseaのInterdisciplinary Research Center(IRC)である。IRCの活動の多くはIMIとロールスロイスによる産業界からの援助で進められている。チタン・アルミナイドの研究にはRAE(Royal Aircraft Establishment) FarnboroughとHarwellが関わっている。

IMIはロールスロイス、RAE、IRCのそれぞれと連携して、ガンマおよびアルファ-2チタン・アルミナイドの溶解を実施している。IRCにおける研究には、双トーチ型プラズマ溶解設備を用いる。これはSERCの資金により導入したもので、15cm径、150cm長さのインゴットを作製できる。多種類のチタン基金属間化合物を溶製している。これらのインゴットはIRCにおいて加工熱処理される。実際のプロセッシングに加えて、IRCではプラズマ溶解と続く鍛造工程のモデル化がなされている。

インゴット・ルートの素材は、IRCの所有する広範な機械試験装置を用いて、多くの条件下での機械試験が実施されている。この研究プログラムはプロセッシング条件と材質および組織の関係の系統的な調査の一環をなすものである。TiAl系の合金では、鍛造前のHIP処理は不要である。長期の目標としては、IRCで所有する鍛造と機械加工設備を用いて、いくつかの実証用部品を作製する計画になっている。

プラズマ溶解設備では、装置内に下注の冷却壁誘導加熱炉を設置して、種々の金属間化合物の噴霧成形材や粉末を作製できるようにしている。この設備では25kgの融体の流れを制御しながら処理できる。

Imperial College所有の単トーチ・プラズマ溶解炉でも、チタン基金属間化合物の溶解をおこなっている。

IRCにおける研究の重点は、高価なマスター合金を用いずに、指定の合金組成の材料を自由に作製することである。IMIとの共同研究の結果から、インゴットは初回の溶解処理後でも良好な均一性をもち、揮発成分のロスも非常に少ないことがわかっている。これはプラズマ溶解が各種の真空溶解法よりも優れた利点である。しかし真空溶解法の利点もあるので、IRCの研究においては、金属間化合物の溶解でどのような場合にプラズマ溶解が真空溶解よりも有利であるかを決めることも重要な課題となっている。

これまでに調べられた合金については、コアリングの拡がりは極めて小さい。恐らくイ

ンゴット径が15cmと小さく、凝固時に水冷しかつ攪拌しているためであろうと考えられる。侵入型元素のピックアップはほとんど無視でき、所望の化学組成を再現性よく溶解できることが明らかである。

英国における研究プログラムを統合し、最小の資金援助と現有の設備で、効率良く実行しようとする試みが進められている。米国や日本に比べて研究資金ははるかに少ないので、資金援助の増加と開発活動の統合化の必要があると痛感されている。

4. 最近の注目成果

4.1. "Forecast '92"に紹介された金属間化合物関連の成果

各種材料やプロセスの研究動向については、毎年 ASM International が"Advanced Materials & Processes"1月号において、"Forecast"(年間展望)として掲載する記事が権威がある。この記事において、1991年と1992年の金属間化合物の項目には次のような成果が紹介されている。

4.1.1. Timetの開発した高温チタン材料

ガンマ・チタン・アルミナイドは、航空機で870℃までのガス・タービン用途向けに開発されている。Timet社は $16\text{MPa}\cdot\text{mm}^{1/2}$ 以上の破壊靱性値をもち、室温で約3%の伸びをもつガンマ・チタン・アルミナイドを開発した。同社はまた、在来の圧延機にスケールアップ可能なガンマ・チタン・アルミナイドのバック圧延法も開発した。

4.1.2. TiB_2 粒子により鑄造チタン・アルミナイドを強化

Howmet社は高剛性、高温強度、低密度のガンマ・チタン・アルミナイドの精密鑄造法開発を進めている。有望なのはXDプロセス(Martin Marietta)であり、 TiB_2 粒子を微細に分散させる技術である。結晶粒は著しく微細化され、引張強度が50%程度も向上できる。鑄造方法はチタンと同様であるが、延性-脆性遷移温度以下での熱間割れを防止する対策が採られている。図4.1のように、機体、ミサイル、ガス・タービン・エンジンへの応用が評価されている。

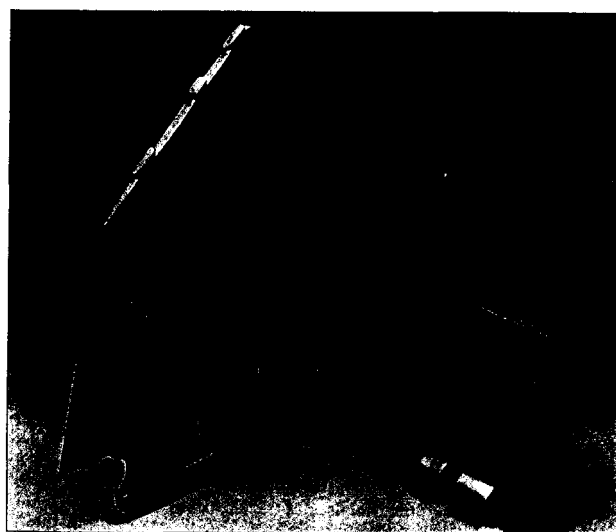


図4.1. XDプロセスで試作した
ガンマ・チタン・アルミナイドのミサイル・フィン

15～25%の TiB_2 粒子を含むプロセッシング特性はMetalworking Technology(MTI)社によって、評価されている。MTIはこのような耐熱性で高温強度の高い材料の熱間加工をおこなうための成形性マップ作成を計画している。

4.1.3. 有望なチタン・アルミナイド合金

Crucible Compaction Metals社は独自のチタン・ガス・アトマイゼーション(TGA)法を用いて、先端的な航空機関連用途の研究開発向けに60種の化学組成のガンマおよびアルファ-2・チタン・アルミナイドを供給している。最近、注文のある成分範囲が狭くなってきている。これは有望な成分系が絞られ、それに研究の重点化が進んでいることを意味している。

同社の大型TGA装置では、消耗型電極インゴットを、水冷銅壁ルツボを備えた真空誘導炉で溶解される。その結果、熔融した合金は同じ組成の薄いスカル内に保持され、耐火物などによる汚染を防げる。融体は耐火物を使わないタンディシュに注入され、その底にある特殊ノズルによって高压の不活性気体ジェットで噴射する。このようにして得られる球状の粉体はほとんど偏析がない。

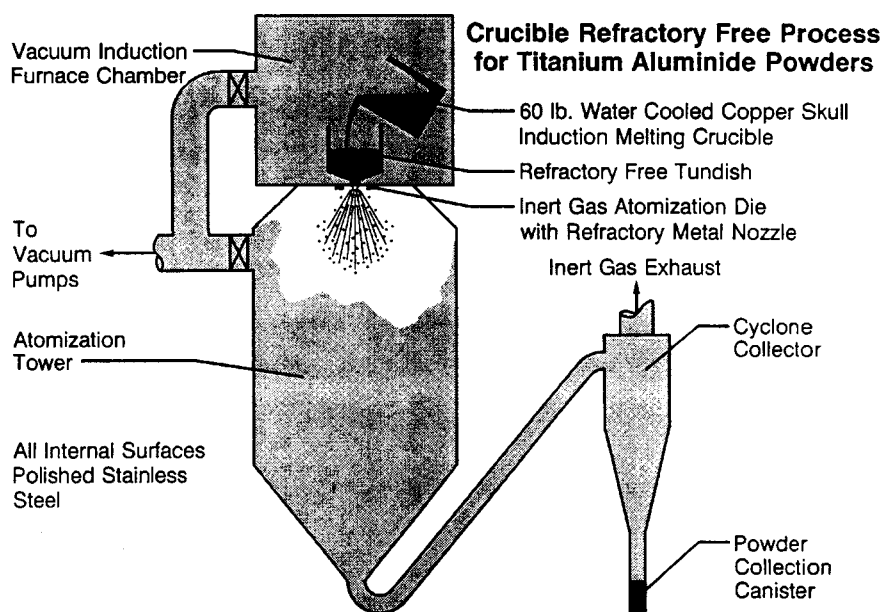


図4.2. TGA装置

現在、チタン・アルミナイド粉末は金属基複合材用の箔作製のプラズマ噴射、押出し、恒温鍛造、直接HIPによるニア・シェイプ成形に使用される。最初の金属基複合材の応用は、排気導管やノズルのような耐高温クリープ性が必要なガス・タービンの静止部品になるであろう。

4.1.4. 日本における超塑性チタン・アルミナイドの開発

新日本製鉄の研究者たちは超塑性特性を有するガンマ・チタン・アルミナイドを開発した。450%程度の大きな伸びが得られている。またガンマ・チタン・アルミナイドの正方晶結晶の電子論的に解析して、c軸方向への電子の不均一分布性を示した。

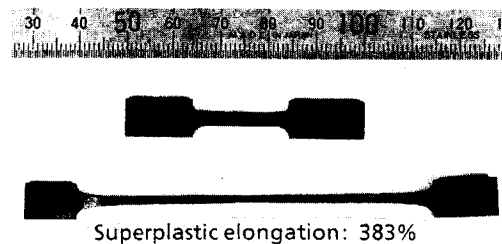


図4.4. ガンマ・チタン・アルミナイドの超塑性

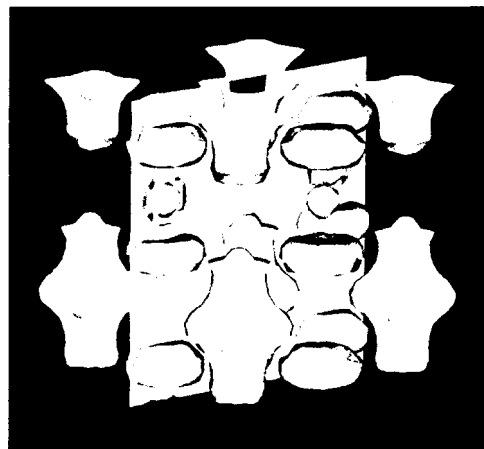


図4.5. TiAl結晶内の電子分布

4.1.5. セラミック繊維で強化したMoSi₂-WSi₂合金

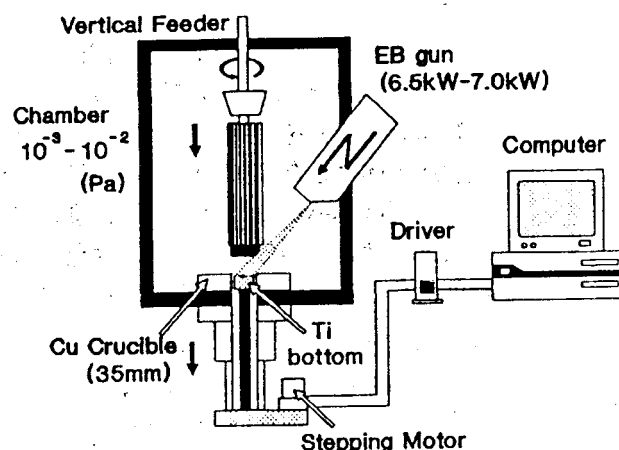
モリブデン・シリサイド(MoSi₂)をマトリックスとする複合材は高温構造材料の新しい候補である。この金属間化合物は高い融点(2030℃)をもち、炭化珪素と同程度の良好な耐酸化性をもつ。また脆性-延性遷移温度(900-1000℃)以上では、金属的な塑性を示す。しかし機械的性質は構造用途には適していない。この欠点を克服するために、Los Alamos 国立研究所ではモリブデン・シリサイドを炭化珪素のホイスキーや粉末で強化することをおこなっている。この材料は1200℃において酸化性雰囲気中で使用可能と見做されている。タングステン・シリサイドはさらに良い高温特性をもつと期待されている。

4.2. 金属間化合物関連の最近の興味ある成果

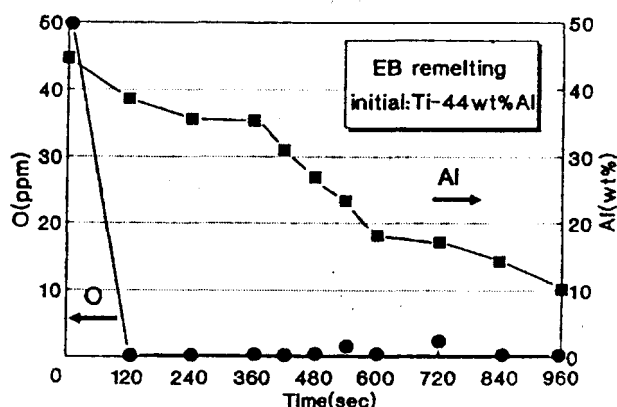
最近の金属間化合物，とくにガンマ・チタン・アルミナイドに関する興味ある研究成果のいくつかを以下に示す．また前章に述べた成果内容を補足する重要なプロセス技術の内容を紹介する．第6章の資料リストに示したように，数多くの成果が報告されている，対象は「耐環境性先進材料」プロジェクトの開発内容に関係深いものとした．

4.2.1. 極低酸素溶解方法

東京大学生産技術研究所では，電子ビーム溶解法とプラズマ溶解法を組み合わせ，酸素をアルミニウムの亜氧化物ガスとして除去する方法を開発した．この結果，酸素量が3ppm以下の極低酸素ガンマ・チタン・アルミナイドのインゴットを製造できることを確認した．



電子ビーム溶解炉



電子ビーム溶解中の酸素の変化挙動

図4.6. 極低酸素ガンマ・チタン・アルミナイドの溶解法

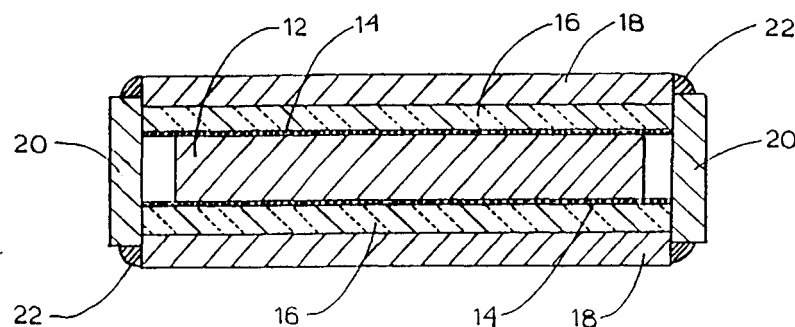
このような高純度の素材について、多くの研究者が疑問に思う酸素の各種材料特性に与える影響を明確にしておくことは重要な今後の課題であろう。現在数百ppm程度の溶解材はかなり容易に入手できるが、それを二桁下回る酸素量の場合にガンマ・チタン・アルミナイドの組織形成、第三添加元素の効果などについて基礎的な理解を確立しておくことが必要である。

4.2.2. 熱間圧延方法

前章に述べられているように、ガンマ・チタン・アルミナイドの板製造が重要な開発目標になっている。ガンマ・チタン・アルミナイドは高温においても変形抵抗が著しく高かつ温度と歪み速度依存度が大きく、変形能は比較的乏しく、さらに耐酸化性も不足する。したがってこのような材料の圧延には、高温、低速、大負荷、無酸化雰囲気などの必要条件が課せられ、大きな困難をともなう。熱間圧延は薄板への形状付与技術としてだけでなく、組織制御技術としても重要であり、圧延技術の開発が求められる。

そこで熱間圧延においても、種々の圧延技術上の対策が求められる。その対策上の要点は圧延材の温度低下を防止し、「恒温圧延」を実現することである。現在までにガンマ・チタン・アルミナイドについて、二つの方法が実機レベルにおける実現可能性をもつとされている。それらについて簡単に紹介する。

一つは従来チタン合金でおこなわれてきたバック圧延を応用したもので、Timet社は下図に示すようなバック方法を用いて成功している。



12 = GAMMA ALUMINIDE

14 = PARTING COMPOUND

16 = INSULATION MTL.

18, 20, 22 = BETA 21S PACK

図4.5. ガンマ・チタン・アルミナイドのバック圧延

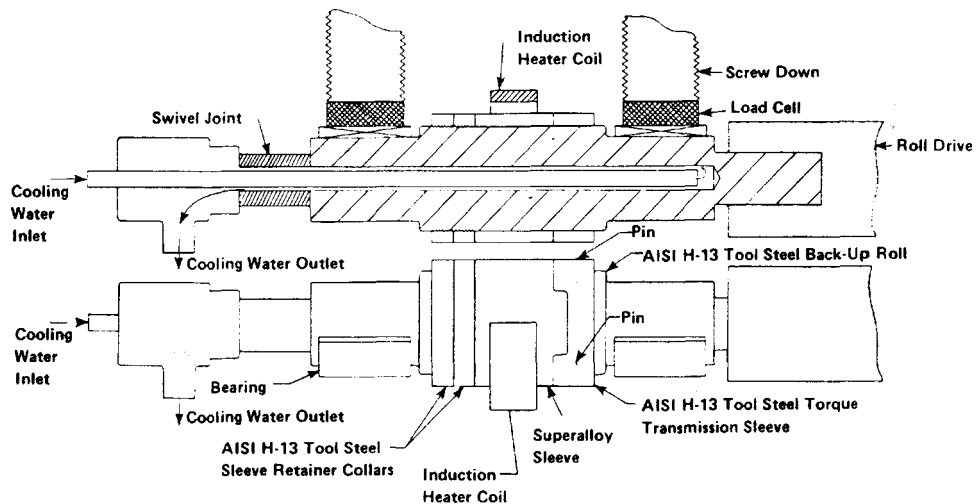


図4.6. Battelleのロール加熱法

被圧延材の温度低下を防止する別の方法は、圧延ロールを加熱することである。そのようなHeated-roll-rolling (HHR)法がBattelle によって開発されている。これは二段ロールを用い、そのロール中心部の高温工具鋼を水冷し、外側には超合金のスリーブを備えている。この複合構造を誘導加熱する。この圧延機では板だけでなく、型材の加工も可能であり、エーロ・フォイル(Air-foil)などの成形の実績もある。

4.2.3. 冷間圧延方法

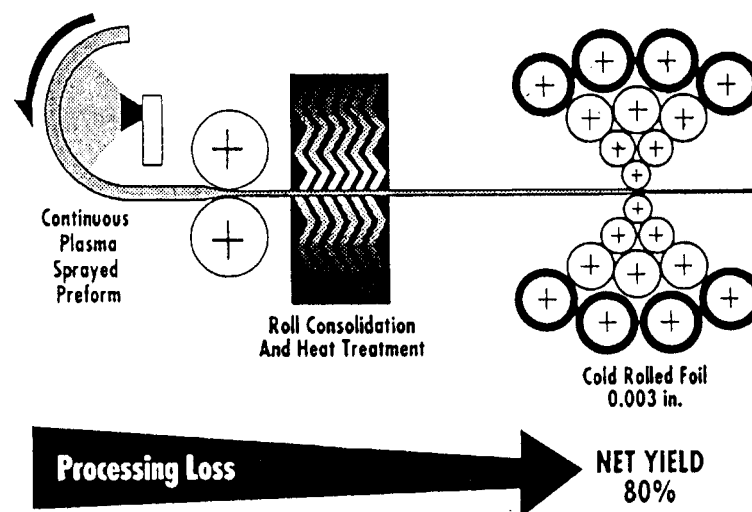
アルファ-2合金では冷間圧延が可能になっていて、製品が販売されている。箔も製造され、ハニカム構造への試作も進んでいる。このような製品の代表的例には、スイスのSulzer Brothers社、米国のTexas Instruments社がある。圧延以外の方法で薄板あるいは箔を作製するやり方に化学的な研削がある。この方法では、コスト高以外に、表面性状や不純物元素の混入汚染の問題が付随する。とくに水素の侵入は材質劣化を起こすので、ガンマ・チタン・アルミナイドでも冷間圧延の実現が強く求められる。

室温延性の乏しいガンマ・チタン・アルミナイドでは、圧延技術面での工夫により、その変形能不足を補うことが求められる。そのような手段として、圧延時の破断原因となる引張応力を低減した等圧圧延法が開発されている。

現在、GEの開発した48-2-2(Ti-48Al-2Cr-2Nb)合金が材料特性のバランスのとれた素材として、最も実用に近い成分系と見做されている。しかし圧延加工が無理であるため、

Texas Instruments社はそのプラズマ溶射の板を、ロールによる固化と焼結を組み合わせる冷間圧延板を製造する技術を開発している。この方法により0.003インチ(80ミクロン)厚さの箔の製造が可能といわれている。歩留は80%程度得られ、価格も化学研削の十分の一位までにできる。下図に冷間圧延法の概要を示した。

Texas Instruments Process for Making Gamma Titanium Aluminide Foil



Source: Texas Instruments

図4.6. Texas Instruments社の冷間圧延法

4.2.4. 特性向上

「超耐環境性先進材料」の開発プロジェクトの高比強度金属間化合物の材質開発目標として挙げられている室温延性と高温強度について、最近の注目すべき成果を示す。室温延性では、目標を上回る伸びが日本の住友金属およびロシアで得られている。また高温強度については、大量のニオブとメカニカル・アロイイングによる酸化物分散により顕著な改善が達成されている。

(1) 高延性化

住友金属では、化学量論比に近い二元系合金で加工熱処理を最適化して伸び4.6%が得られたことを報告している。この延性向上の要点は等軸粒と層状組織粒の二相組織を形成させ、それらの微細化と均一化をはかるとともに、相の存在比をほぼ同じとするものである。そのような高延性材料の組織と引張試験における応力-歪み曲線を図4.7.に示した。

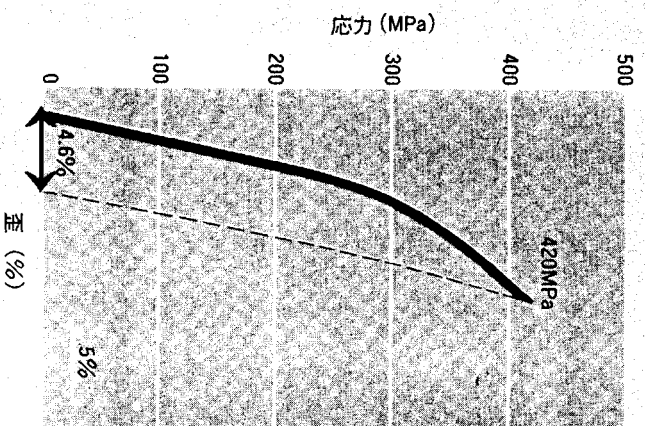


図4.6. 高延性ガンマ・チタン・アルミナイドの組織と応力-歪み曲線

一方、ガンマ・チタン・アルミナイドにおいて、ナノ構造にまで微細化を進めると室温延性が5%まで高められることがロシアの研究者により見いだされているが、その詳細は不明である。

(2) 高温強度の向上

「超耐環境性先進材料」として開発されている高比強度金属間化合物と高融点金属間化合物に対して化学組成的に、したがって高温特性面でも中間に位置する合金が優れた特性をもつ材料が大同特殊鋼により見いだされている。その合金は図4.7の三元状態図上に示されるように、ニオブを大量に含有するにも関わらず、基本はガンマ・チタン・アルミナイド基で、固溶限界一杯のニオブを含んだガンマの結晶構造をもつ単相合金である。この合金にはさらにイットリウム(Y_2O_3)が配合され、メカニカル・アロイイングにより分散強化されている。この酸化物はアルミナと複合酸化物を形成し、均一に微細分散する。

この高ニオブ・ガンマ・チタン・アルミナイドは1350℃においても、図4.8.に見られるように、超合金Inconel600の1100℃における耐酸化性を凌駕する特性を示す。またかなりの熱間加工性も期待できることが報告されている。

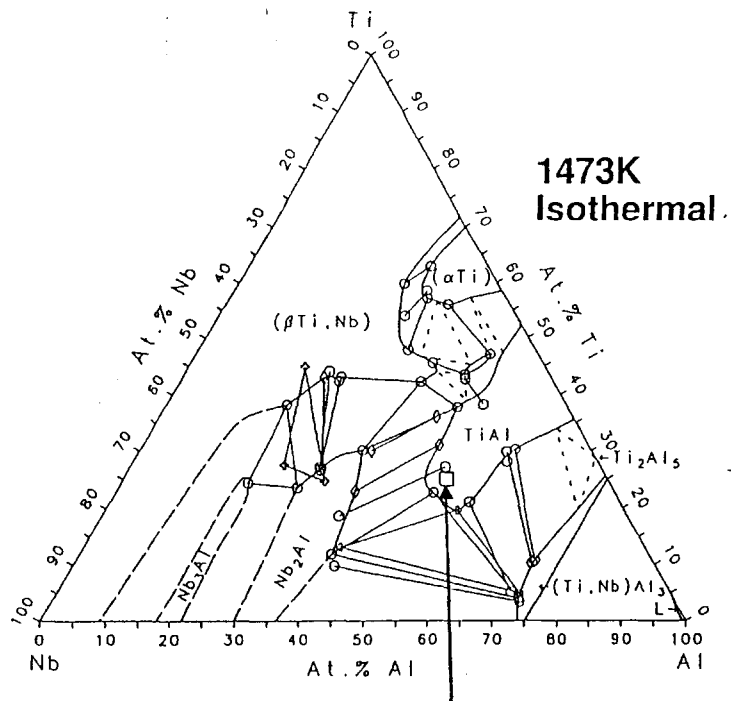


図4.7. 高ニオブ・ガンマ・チタン・アルミナイド

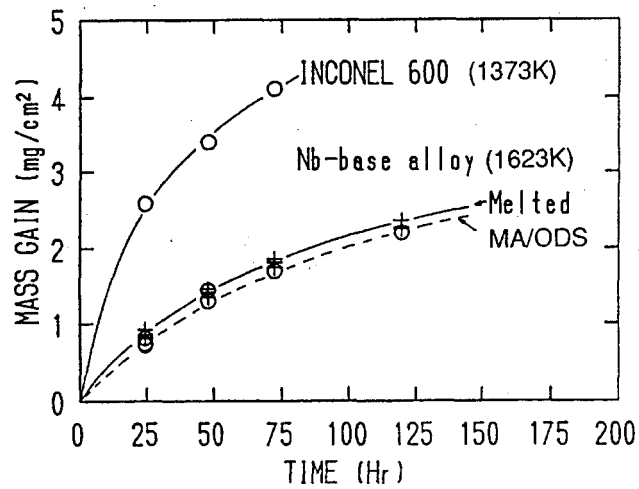


図4.8. 高ニオブ・ガンマ・チタン・アルミナイドの酸化挙動

4.2.5. Ti-Al-X三元状態図の集成

最適合金組成設計と組織制御のために状態図は基本的情報をもたらす。本プロジェクトでも多元系状態図の作成が重要な開発課題となっている。たとえば、前記のニオブを大量に添加した γ Ti-Alはこのような三元状態図の中に見いだすことができる。

現在、三元状態図の集大成が進められており、Ti-Al-X系については既に刊行されている。それらの中で今後の開発に参考となる主要な系について、とくに重要と考えられる1000℃付近の等温断面によって三元状態図を示した。

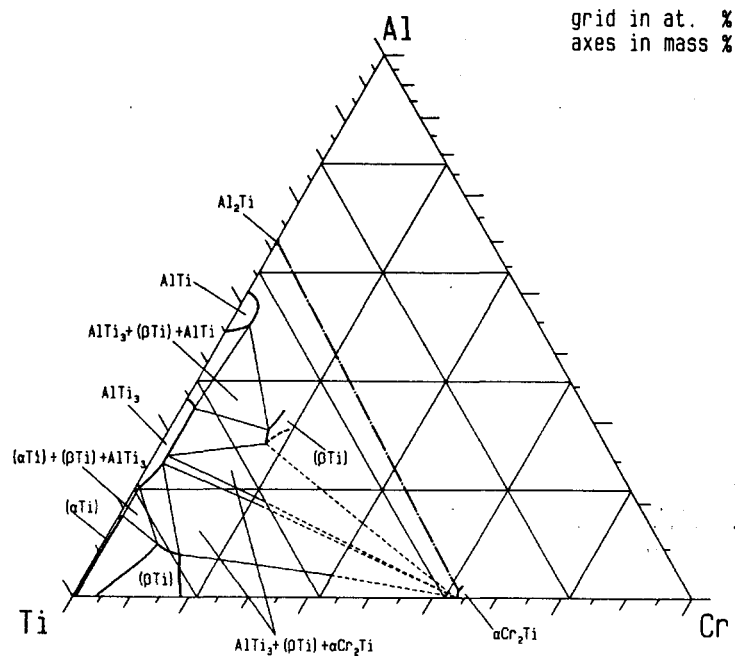


図4.9.a. Ti-Al-Cr系(800℃)

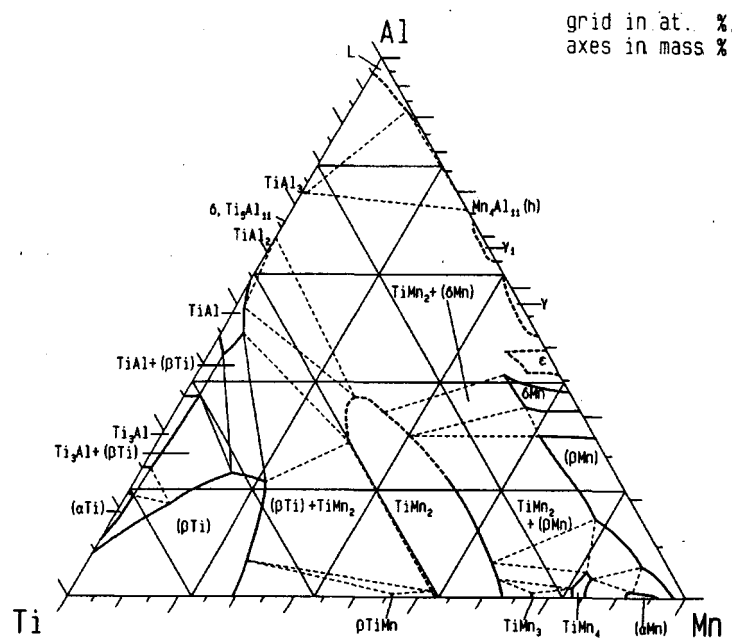


图4.9.b. Ti-Al-Mn系(1000°C)

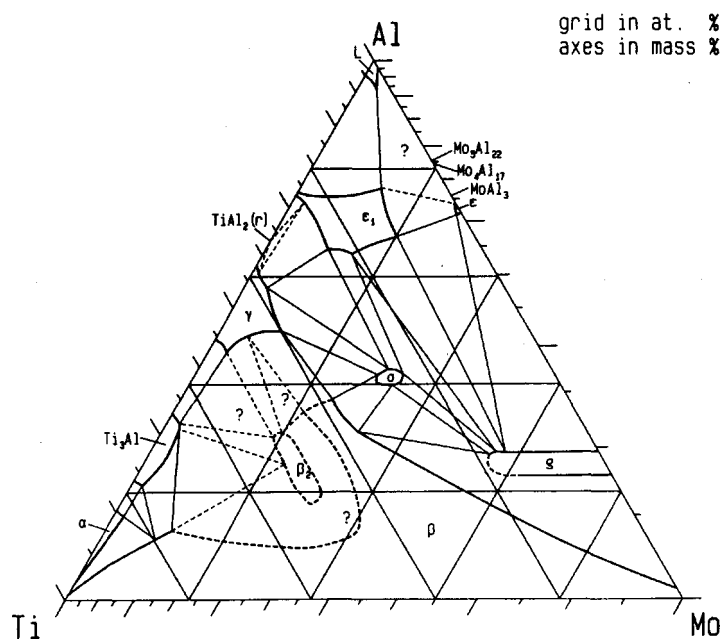


图4.9.c. Ti-Al-Mo系(900°C)

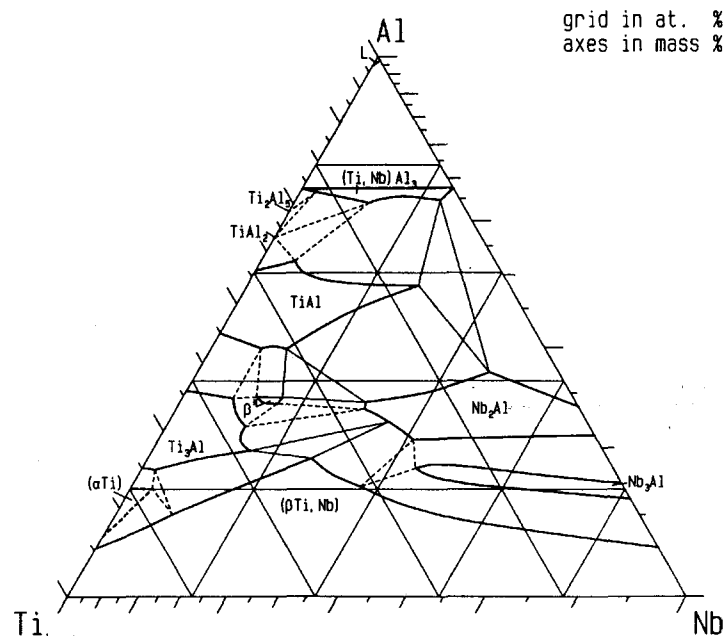


図4.9.d. Ti-Al-Nb系(1000℃)

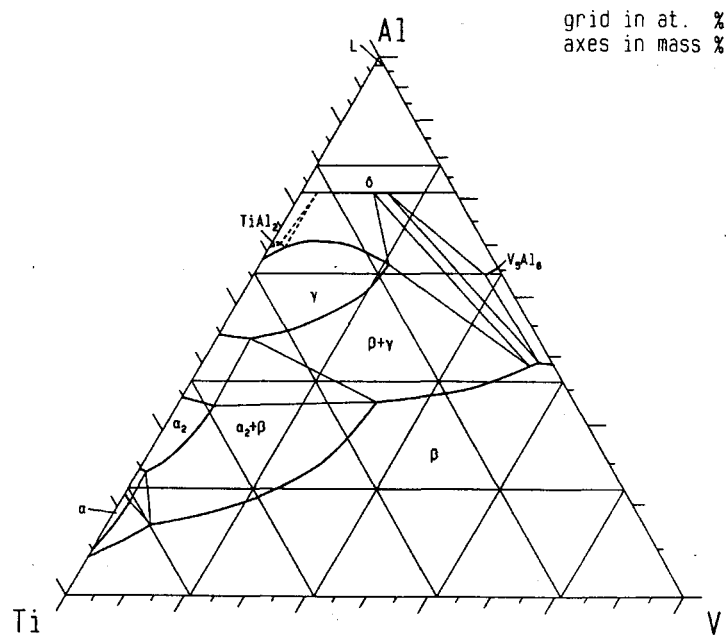


図4.9.e. Ti-Al-V系(1000℃)

5. 関連研究者の意見

「超耐環境性先進材料(金属間化合物)の開発」プロジェクトについて、今後の効果的な展開のために、金属間化合物の研究開発に携わる国内外の研究者達に、以下のような要領で意見を求めた。

5.1. 「超耐環境性先進材料(金属間化合物)の開発」プロジェクトに対する意見・評価の調査

本プロジェクトの計画、目標に対する国内外の意見・評価について、ヒアリングなどにより調査を行なう。

その調査項目は、

- ・ 認知度
- ・ 国が実施することに対しての意見
- ・ 研究項目
- ・ 研究目標
- ・ 研究体制
- ・ 今後期待すること、である。

これらの項目について、ヒアリングとアンケートにより、企業、大学、国立研究機関の金属間化合物関連研究者に意見を求めることである。

以下、調査結果を国外と国内に分けてまとめた。

5.2. 国外研究者の意見

現在、大学、公立研究所、企業研究所に所属して活発に金属間化合物の開発活動に従事している研究者10名にアンケートを送付した。その内で、半数の5名から率直で示唆に富む回答を得た。それらの回答者の氏名と所属は次の通りである。

(1) Dr. Michael Dahms

Institute für Werkstofforschung

GKSS-Forschungszentrum

Germany

(2) Dr. Young-Won Kim

UES Inc.

United States of America

(3) Professor Ian Baker

Dartmouth College

Thayer School of Engineering

United States of America

(4) Dr. Dennis M. Dimiduk

AFWAL Materials Laboratory

AFWAL/MLIM

United States of America

(5) Professor Francis H. Froes

Institute of Materials and Advanced Processes

College of Mines, University of Idaho

United States of America

次ページ以下に質問文と回答を記した。なお全回答において、同一番号は同一人物の意見を掲げてあるが、その番号は上記の回答者の番号とは対応していない。

Questionnaire

(アンケート)

Please refer the enclosed booklet for the details of the program "High-performance Materials for Severe Environments (Intermetallic Compounds)" in Japan.

(「超耐環境性先進材料の開発[金属間化合物]」プロジェクトの内容については、同封の小冊子を参照してください)

- (I) How much do you know about the program of "High-performance Materials for Severe Environments (Intermetallic Compounds)" in Japan.?

(日本における「超耐環境性先進材料の開発[金属間化合物]」のプロジェクトについて、どの程度までご存じですか)

回答1: I know aspects of a general nature about the program. The few details which I have come from discussions with Prof. Yamaguchi.

プロジェクトの一般的な性格の概況については知っている。若干の詳細については、山口教授から聞いて知っている。

回答2: /

無回答

回答3: I knew of its existance and emphasis on TiAl.

プロジェクトの存在，そしてTiAlに重点をおいていることを知っている。

回答4: Fairly familiar since I have interacted with RIMCOF(JISEDAl), presented a lecture, and read open reports.

かなり良く知っている。次世代協会と関係をもっており、講演もしたことがあり、プロジェクトの講演集を読んでいる。

回答5: I heard of it, but do not know much.

聞いてはいるが、多くを知らない。

(II) The Agency of Industrial Science and Technology (AIST), a branch of The Ministry of International Trade and Industry (MITI), organizes the program and commissions The New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO) to coordinate the program. NEDO further commissions The R & D Institute of Metals and Composites for Future Industries (RIMCOF) for execution of the program. How do you think that the governmental agency promotes the project ?

(本プロジェクトが、政府機関によって推進されていることについて、どのように考えますか)

回答1: I do not know anything about this.

この点については、なにも知らない。

回答2: /

無回答

回答3: I don't know.

知らない。

回答4: Very well.

大変良い。

回答5: Unless too much intervening and bureaucratic, a government agency is, I think, is desirable provided it is well coordinated and constantly informed.

余り干渉せず、官僚的に過ぎず、そしてうまく調整されて、情報が絶えず交流されていけば、政府機関が関与することは望ましいと考える。

(III) Three national laboratories and six private companies take part in the program. The private companies are limited to the member of RIMCOF. Kyoto University and Tohoku University cooperate in basic research (Please refer Fig. 1 of the booklet). Do you have any comment on the organization of the program ?

(本プロジェクトには、三つの国立研究所とRIMCOF会員の六つの企業が参加しています。他に京都大学と東北大学が、基礎研究において協力しています[同封の小冊子Fig.1参照]。このような本プロジェクトの組織構成についての意見をお寄せください)

回答1: As observers from afar, we cannot see the inner working of the program. From what we see, the program appears to be well organized.

外国の傍観者からは、プロジェクトの内部の運用状況を窺いしれない。しかし知るかぎりでは、プロジェクトはうまく組織されているように見える。

回答2: /

無回答

回答3: The mix of different types of organizations seems a good idea.

いろいろなタイプの機関を組み合わせたのは良い考えのように思われる。

回答4: I think the program is organized very well. My only comment here is that close coordination of the various organizations, especially the universities, is vital to a successful program.

プロジェクトは大変良く組織されていると考える。ただここで一つだけコメントすると、種々の機関、とくに大学との密接な関係が計画成功に不可欠である。

回答5: (1) The relations between national labs and R&D labs (industry) are unclear.

(2) How about universities ? Do they communicate with, and support, R&D institutes.

(3) The roles of Tokyo and Osaka university are not clear.

(1) 国立研究所と企業の研究所との関係がよくわからない。

(2) 大学の役割はどうなっているのか。大学は企業の研究所を支援し、情報交換をしているのか。

(3) 東大と阪大の役割がわからない。

(IV) The organizations participating in the program report the results of their research and development in the annual meeting. The Proceedings of the meeting are published with abstracts in English. Are you interested in disclosure of the results of research and development of the program ?

(本プロジェクトに参加する機関は毎年公開のシンポジウムで成果を発表する。そのシンポジウムにおける報告は、英文のアブストラクトを付して、講演集として刊行されている。このような研究開発成果発表に興味がありますか)

回答1: Yes, however, I have not yet seen these proceedings.

興味がある。しかし未だそのような講演集を目にしたことはない。

回答2: /

無回答

回答3: Yes, I'm very much interested in the results of the program.

プロジェクトの成果には大変興味がある。

回答4: Yes. I have received the reports for the last two years.

興味がある。最近二年の講演集を受け取っている。

回答5: Yes, I am interested in. I would like to express my opinions from time to time because I am eager to see anybody (or any country) succeed in use of TiAl or other intermetallics.

興味をもっている。私は、誰であれまたどの国であれ、TiAlなどの金属間化合物の実用化に成功することを切望しているので、いつも私の考えを申し述べたいと思っている。

(V) The program sets the following goals in the term of 1989-1997;

(本プロジェクトは1989-1997年の期間で以下の目標達成を定めている)

a. Intermetallic compounds with specific tensile strength (γ Ti-Al based alloys)

(高比強度金属間化合物[γ Ti-Al 基合金]について)

- Specific tensile strength at 1,100°C --- 100 MPa or more (比強度：1,100°Cで100 MPa以上)

- Elongation at room temperature --- 3% or more (伸び：室温で3%以上)

b. Intermetallic compounds with high melting point (Nb-aluminides)

(高融点金属間化合物[Nb-Al 基合金]について)

- Tensile strength at 1,800°C --- 75 MPa or more (引張り強度：1,800°Cで75 MPa以上)

- Elongation at room temperature --- 3% or more (伸び：室温で3%以上)

(1) Judging from the intrinsic properties of the materials, are the goals achievable

(a) for γ Ti-Al based alloys ? If not achievable, why ?

(γ Ti-Al 基合金の固有の特性から判断して、この目標は達成可能でしょうか。不可能と考えられる場合、その理由を示してください)

回答1: These goals have essentially already been achieved, however, they tell us very little. The material is too unstable at 1100°C. Further, these goals seem arbitrary since they do not reflect the need for a specific balance of properties and design criteria for a specific application.

これらの目標は、ほとんど公にはされていないものの、既に基本的には達成されている。しかし本材料は1100°Cにおいて、極めて不安定である。さらにこれらの目標は、特定の用途に対してそれぞれ材料特性と設計規準とのバランスをとる必要性を念頭に入っていないので、あいまいである。

回答2: No, in monolithic material, creep is diffusion-controlled, which is fast at 1100°C.

否、単体の材料では、クリープは拡散律速であり、1100°Cでは急速に進行する。

回答3: It is not clear that the goals of good high temperature strength and usable low temperature ductility are achievable on the same alloy.

同じ合金において、良好な高温強度と実用可能な低温延性という目標が両立して達成可能なのか、明らかでない。

回答4: I think so. You may even want to raise the elongation requirement -- recognizing however that presently fracture toughness and ductility move in opposite directions with microstructural modification.

よいと思う。恐らくもっと伸びの要求を高めたいという希望があると察せられる。

回答5: Yes, they are achievable. In fact, the specified properties have been already achieved. However, the goals are too narrow, unbalanced and irrelevant. Elongation should be balanced with other properties such as toughness and creep resistnace. Gamma TiAl cannot be used at temperatures above 950°C, meaning the temperature goal should be lowered. If you are interested in setting goals, we can discuss during my visit to JIMIS-7 (July) or during the 3rd SAMPE (December).

達成可能と考える。実際、特定の性質については既に達成されている。しかしこの目標は余りに狭く、バランスがとれておらず、的はずれである。伸びについては、靱性や耐クリープ性のような他の性質との関係で考慮しなければならない。ガンマ・チタン・アルミナイドは950℃以上では使えないので、温度の目標は下げるべきである。目標設定について訪日の際に議論したい。

(b) for Nb-aluminides ? If not achievable, why ?

(Nb-Al基合金の固有の特性から判断して、この目標は達成可能でしょうか。不可能と考えられる場合、その理由を示してください)

回答1: Both property goals appear unrealistic. There is an insufficient technical basis to suggest that 3% elongation could ever be achieved in such materials. Further, the melting point of this material suggests that attaining useful strengths at 1600°C will be difficult, with 1800°C impossible.

両目標ともに非現実的と思われる。このような素材で3%の伸びが実際に達成できることを示唆するに足る技術的な根拠はない。さらにこの材料の融点からみて、1600℃においても使用に耐える強度を得ることは困難であり、ましてや1800℃では不可能であろう。

回答2: /

無回答

回答3: I think the 3% elongation at room temperature is probably unachievable in such a high temperature compound.

このような高融点化合物で、室温における3%の伸びは恐らく実現できないと考える。

回答4: Strength requirement may be too high.

強度に関する要求は高過ぎる。

回答5: Not achievable. The temperature is too high, 1400°C may be the maximum for use. The room temperature ductility, 3%, will never be achieved. It is appropriate to set a ductility at an elevated temperature.

達成不可能。温度が余りにも高い。1400°Cが最高使用温度だろう。室温延性の3%は決して実現できないであろう。高いある適切な温度における延性を目標に定めるのが妥当である。

(2) Are the goals consistent with potential applications such as airframe structure and engine parts ? Is ductility the adequate criterion for structural application of intermetallics ? (以上の目標は、想定する宇宙・航空機機体やエンジン部材のような用途と整合していますか。また金属間化合物の構造用用途にとって、延性は妥当な特性評価規準となるでしょうか)

(a) for gamma Ti-Al alloys ? If no, why ?

(高比強度金属間化合物[γ Ti-Al 基合金]に対してはどうですか。否の場合には、何故ですか)

回答1: No ! There are many potential uses for TiAl at temperatures beginning at 700°C and above. Further, ductility is not an accurate indicator of the ability of the material to serve in these applications, while the strength at 1100°C does not reflect this either.

否！TiAlには、700°Cから始まり、それ以上の温度において多くの可能な用途がある。さらに延性はこのような潜在用途への適用可能性を的確に示す尺度ではない。また、1100°Cにおける強度もこの点が考慮されていない。

回答2: Ductility is not adequate, fracture toughness is. Structures are not plastically deformed during service, but they are subject to cracks.

延性が適切でなく、破壊靱性が規準である。構造物は、使用中に塑性変形を受けるのではなく、クラックするのである。

回答3: I think the problem of adequate oxidation resistance and hydrogen embrittlement may limit the usefulness for airframe structure and engine parts.

この合金の、そこそこの耐酸化性と水素脆化の問題が、航空機機体構造とエンジン部品への実用性の制約となるものと考ええる。

回答4: Generally the answer is yes. But critical structures, especially in the aerospace industry, are designed to fracture mechanics criterion (K_{1c} or $d\sigma/dN$ etc) not ductility. Ductility is a "cushion." We need to re-think design criteria for brittle materials -- perhaps a parallel program in this area is needed.

一般的に言って妥当である。しかし致命的な構造物、とくに宇宙航空産業では、設計は延性ではなくて、破壊力学的規準(K_{Ic} や $d\sigma/dN$ など)にもとづいておこなわれる。延性はいわば"クッション"である。脆性材料について、設計規準を考慮しなおす必要があり、この分野について平行した研究プログラムを進める必要があろう。

回答5: Setting goal is not simple. It should be application specific. We can talk about when we meet. As described, the ductility goal should be combined with other properties. Ductility alone is meaningless. 2% elongation at room temperature can be useful if toughness, strength and creep resistance are adequate, for example.

目標設定は簡単ではない。目標は用途を限定して定めねばならない。この点については、訪日時にでも話し合いたい。前にも言ったように、延性は他の性質と組み合わせられねばならない。延性のみでは意味がない。2%の伸びであっても、たとえば、もし靱性、強度、耐クリープ性が満足であれば使える。

(b) for Nb-aluminides ? If no, why ?

(高融点金属間化合物[Nb-Al基合金]に対してはどうですか。否の場合には、何故ですか)

回答1: No - for the same reasons stated above. However, nobody really knows how these materials may be used, if they ever be used.

上(a)と同じ理由で、否である。しかし、もしもこの材料が使われるようになったとしたら、どのように使用されるであろうかは実際には誰もわからない。

回答2: /

無回答。

回答3: I cannot see that the Nb-aluminides will have sufficient fracture toughness for use. Also, Nb_3Al is not particularly oxidation resistant.

ニオブ・アルミナイドが使用に耐えるだけの破壊靱性を具備するかわからない。さらに、 Nb_3Al が特別に耐酸化性に優れている訳ではない。

回答4: ---

a)と共通。

回答5: No. I cannot think of any application of these materials in next 20 years at least in aerospace applications.

この材料が、今後20年の間に少なくとも航空宇宙用途に適用されるとは考えられない。

(VI) The following approaches are being made for achievement of the goals;

(上記目標達成のために、次のようなアプローチがなされています)

- a. Preparation of equilibrium phase diagrams for material design.(材料設計のための平衡状態図作成)
- b. Melting technology of high purity materials with compositional control (高純度素材の溶製技術)
- c. Powder metallurgy (粉末冶金)
- d. Surface treatment for improved resistance to oxidation.(耐酸化性向上の表面処理)

(1) Are the approaches appropriate

(a) for gamma Ti-Al based alloys ?

(このようなアプローチは、高比強度金属間化合物について適切ですか)

回答1: Generally, the approaches are appropriate. Phase diagram data is vital for materials design, but should be centralized and shared. The need for melting technology is less clear; most conventional melting practice is adequate for TiAl, but we do not yet know what advanced practices may offer. Powder may be unnecessary. Oxidation/corrosion control is essential, and coating or surface treatments often help.

全般的には、アプローチは妥当である。状態図は材料設計に不可欠であるが、中心をおき、情報を共有すべきである。溶解技術の必要性は余り明確でない。TiAlについては多くの在来の方法が使える。しかしどんな新しい方法が出て来るかはわからない。粉末冶金は必要ないであろう。酸化・腐食の制御は不可欠であり、コーティングや表面処理が役立つであろう。

回答2: a), c), d) okay. b) is too expensive (low oxygen).

a), c), d)は良いが、b)は[低酸素とするには]、費用がかかりすぎる。

回答3: All of the approaches are sound. One problem I can see is that using a powder route the oxygen levels in the TiAl may be difficult to control.

いずれのアプローチも妥当である。一つ感じられる問題は、粉末ルートを用いると、TiAlの酸素量を調整することが困難であろうことである。

回答4: Again generally "yes." But I would add a comment to each program to define the relationship of microstructure to mechanical properties - to include other measures of "forgiveness" beyond room temperature ductility.

Mechanical alloying is a synthesis technique worthy of inclusion. It allows control of microstructure and constitutional effects beyond rapid solidification.

この場合も一般的には妥当といえる。しかし、一つコメントを加えるならば、それぞれの計画において組織と機械的性質の関係を明確にすること、室温延性だけではなく他に許容度の尺度を考慮することである。メカニカル・アロイイングは計画に含める価値のある製造法である。急冷凝固法よりも、組織や成分の制御ができる。

回答5: a) Construction of phase diagrams is important, but it is adequate to use existing phase diagrams.

b) Improvement of current techniques should be adequate. Oxygen contents between 400 and 800 ppm are acceptable and are currently achievable quite easily. The compositional control $\pm 0.5\%$ Al is acceptable and readily achievable.

c) Powder metallurgy is important but should be used for complicated NNS (near-net-shape) components and non-rotating components, only.

d) Surface treatments are very important to improve oxidation resistance, and are more powerful when the materials intrinsic resistance is enhanced by alloy modification.

a) 状態図の作成は重要である。しかし現存の状態図で用が足りる。

b) 在来技術の改良でよい。400～800ppmの酸素量は問題なく、現在容易に実現可能である。アルミニウム量は $\pm 0.5\%$ の制御でよく、これも容易に実現できる。

c) 粉末冶金は重要であるが、複雑形状のニア・ネット・シェイプ部品や非回転部品にのみ適用されるべきである。

d) 表面処理は耐酸化性を改善する上で極めて重要である。これは合金添加で材料自体の耐酸化性が高められている場合に有効である。

(b) for Nb-aluminides ?

(このようなアプローチは、高融点金属間化合物について適切ですか)

回答1: The limit of conventional melt practice have not been defined for these alloys, so b) and c) may be unnecessary. These alloys will very likely require advanced processing, other than melting. Phase diagrams are essential as always. Surface treatments will be required, but research here may be premature at the present time.

これらの合金について、従来の溶解法の限界は確定していない。したがってb)とc)は不必要である。これらの合金では溶解以外の進んだ方法が必要であろう。状態図は常に不可欠である。表面処理は必要であろうが、現段階での研究は時期尚早であろう。

回答2: /

無回答

回答3: All of the approaches are again sound but unless the base materials has reasonable oxidation resistance to rely on a coating for oxidation resistance is risky.

この場合にも、すべてのアプローチは妥当である。しかし、ベースの素材が相応の耐酸化性をもっていなければ、耐酸化被覆に頼ることは危険である。

回答4:

(a)と共通

回答5: a) Important.

b), c), d) The comments are similar to those in (a) TiAl

a) 重要である。

b), c), d) (a)のTiAlと同じコメント。

(VII) When do you think the intermetallics can reliably be applied to structural use

(何時、金属間化合物が信頼性をもって、構造用途に適用できると考えますか)

(a) for gamma Ti-Al based alloys ?

(高比強度金属間化合物の場合の実現時期)

回答1: By the end of the 1990's.

1990年代の終わり迄に実現.

回答2: Now (turbine blade, engine valves)

タービン・ブレード, エンジン・バルブなどに現在適用可.

回答3: The gamma Ti-Al alloys can probably be used in the near future (next few years) in down-to-earth applications.

ガンマ・チタン・アルミナイドは恐らく近い将来(今後数年)に, "地に足のついた"用途で使用されるであろう.

回答4: None demanding - now (1993). Demanding - 2005+.

過酷でない用途—現在 (1993). 過酷用途—2005年以降.

回答5: 1. It is expected that some automobile engine components will see TiAl used within 5 years.

2. In aircraft turbine engines, it will take 10 years before any TiAl components are used in spite of increasing efforts and interest. This is quite natural for any new materials to be used in engines.

1. いくつかの自動車エンジン部品に, TiAlが数年以内に使用されるものと期待される.

2. 航空機のタービン・エンジンでは, 努力と興味の高まりにもかかわらず, TiAlの部品が使われるには10年かかる. これはどんな新しい材料でも, エンジンに採用される上で当然のことである.

(b) for Nb-aluminides ?

(高融点金属間化合物の場合の実現時期)

回答1: Not before the year 2005.

2005年以前には実現しない.

回答2: /

無回答

回答3: I can really foresee the Nb-aluminides being used as structural materials.

ニオブ・アルミナイドが構造材料として使用されることを予見できる。

回答4: None demanding - 1994. Demanding - 2010+ !

過酷でない用途—1994年. 過酷な用途—2010年以降.

回答5: 1. As stated earlier, I may say "not before 2015" if I am forced to. If economy is involved, these aluminides will never be used in turbine engines.

2. R & D of these aluminides is, however, important in the sense that we should not stop studying unknown materials.

1. どうしても答えねばならないとすれば、前にも言ったように「2015年以前にはない」.

2. しかし、このようなアルミナイドの研究開発は、未知の材料を調査することを止めるべきではないという意味において、重要である.

(VIII) What do you think of the present stage of research and development of the intermetallics for structural application ? What is the most important subject of basic research for breakthrough in practical application of the intermetallics ?

(構造用金属間化合物の現在の研究開発はどんな段階と考えられますか。金属間化合物の実用化への突破口となる最も重要な基礎研究課題はなにですか)

回答1: This subject has been treated many times by several internationally represented groups over the last two years. Short replies are not easy to make, and all replies should be application specific. Advances in structural materials are nearly always tied to processing and rarely occur as breakthroughs. We have far too much emphasis on ductility and an inadequate view of end uses for these materials. Phase diagrams are essential, yet relatively unknown; so is data on transformation kinetics. Processing usually requires difficult capital investments. Single-crystal research is required to really know the fundamentals. Materials design could continue to benefit from coupling with the solid mechanics analysis community, but these groups seem to take pride in being separate entities.

この問題は最近二年間に、いくつかの国際的な代表者グループによって何回も論じられてきた。短い答えをするのは容易でなく、さらに全ての答えは用途を特定したものでなければならない。構造材料の進歩は、ほとんど常に、プロセッシングと結びついており、ブレイクスルーとして起こることは稀である。これらの材料について、我々は余りにも延性に重点をおき過ぎ、不的確な最終用途を念頭においている。状態図は基本的に必須であるが、未だかなり未知の部分が残っている。変態の速度論のデータも同様である。プロセッシングは通常資金面の困難をともしなう。単結晶を用いた研究が、基本的な事象の理解のために求められる。材料設計は固体力学の解析研究者との連携で利するところがあるであろうが、これらの研究者グループは独立していることに誇りをもっているようである。

回答2: Stability of interfaces for composites.

複合材界面の安定性。

回答3: /

無回答

回答4: I assume in this context "structural application" means a demanding application (K_{1c} , ductility important). So we have a long way to go/see question VII. I will give you three areas;

- (i) Understand microstructure/crystal structure - mechanical property relationship.
- (ii) Methodology to design with "brittle" materials - so that you have predictable behavior.
- (iii) Study of innovative synthesis techniques such as mechanical alloying and vapor processing.

ここで、構造用材料というのは、靱性や延性を重視する過酷な用途の材料を意味すると解釈する。そうすると、VIIの設問に戻って考えねばならないむづかしい問題である。三つの観点があることを指摘しておきたい。

- (i) 組織や結晶構造と機械的性質との関係を解明すること。
- (ii) 脆性材料の構造設計の方法論をもつこと。そして材料の挙動を予測できるようにすること。
- (iii) メカニカル・アロイイングや蒸着法のような革新的な素材製造方法を研究すること。

回答5: Gamma TiAl:

Our understanding of TiAl in fundamental area is advanced. We know a lot about physical metallurgy, microstructural control and evolution, and general sense of processing methods. Nevertheless, there are a number of area, both essential and critical, we have to understand in detail before TiAl is to be used, with confidence, in structural applications. These can be grouped into four areas as described below;

1-1. Alloy-specific microstructures and their relationships with various mechanical properties. The size, morphology, and distribution of gamma and alpha-2 phases affect mechanical properties at room temperature and elevated temperatures. The quantitative relationships are not established for each alloy composition.

1-2. Relationships between specific microstructures and room temperature/elevated temperatures deformation/fracture behavior and processes. Understanding of these relationships is the foundation of the development of the designed ("engineered") microstructures that can be alleviate the tensile-toughness inverse relations improving balanced properties.

1-3. Process development for mill products and end products. Structural components can be stationary or rotating. The stationary or low-load-bearing rotating components can be processed by a variety of different routes (although the

mechanical alloying method is strongly recommended not to use). The rotating components are best processed by either casting or better yet ingot wrought processing. The most important issue in this process is how to economically and successfully break down large-scaled alloy ingots into mill products (plates, rods, and sheets) with compositionally and microstructurally uniform properties. The next step is to form the end products with near-net-shaping by either isothermal or hot die-forging and/or superplastic forming. There are several aspects that can be important subject of basic research in these processes.

1-4. Long term stability of TiAl in hostile environments. As was already mentioned, this important program can be attached by both alloy modification /development and surface treatments.

ガンマ・チタン・アルミナイド

基本的なところでのTiAlの理解は進んでいる。現在、この材料の物理冶金学、組織形成と制御、プロセッシングの概要について多くのことを知っている。それでもなお、TiAlが確信をもって構造材料として実用化に至るまでには、本質的なところそして重大な部分で詳しく解明しておいておかねばならない領域が沢山ある。それは次のように四つに大別できる。

1.1. 合金を特定して、微細組織と種々の機械的性質との関係を明らかにすること。ガンマとアルファ-2相のサイズ、形態、分布は室温と高温の機械的性質に影響を及ぼす。各合金組成に対して、未だそのような関係が定量的にわかっていない。

1.2. 組織を特定して、それと室温と高温の変形や破壊挙動、さらにプロセスとの関係を解明すること。これらの関係の理解がもとになって、延性と靱性との相反的な傾向を弱めながらバランスのとれた特性を付与する材料組織の制御あるいは創製技術開発がおこなえる。

1.3. 工業的生産と二次加工のプロセス技術の開発。構造用部品としては固定的なものと同転するものがある。動かないまたは低荷重のベアリング部品は、いろいろの異なるルートで製造・処理できる(しかしメカニカル・アロイイングは推奨できない)。同転部品は鑄造、さらに好ましいのは鑄造と塑性加工の方法で製造するのが良い。このプロセスで最も重要なことは、大型の合金鑄造素形材をいかに経済的にうまくブランクダウンして、組成と組織両面で一様な性質をもった板や棒などの一次加工工業製品にすることである。次の段階は、恒温あるいはホットダイ鍛造、さらに超塑性成形によるニア・ネット・シェイプ加工で最終製品にすることである。これらのプロセスで基礎的に研究する重要な課題はいくつかある。

1.4. 過酷な環境下でのTiAlの長期の安定性。前にも指摘したように、この重要な課題は合金化による改質そして表面処理と関連させて研究される。

Nb-aluminides:

Everything we have been doing for these aluminides is all basic. Since no breakthrough is foreseeable, I cannot think of any subject that is more important than others.

ニオブ・アルミナイド

現在このアルミナイドについておこなっていることは総て基礎的である。どのようなブレイクスルーを予見することができないので、取り上げて重要と考えるべき課題を思いつかない。

(IX) Could you give your advice and comment
on the future development of the program ?

本計画の今後の展開について助言やコメントをいただきたいと思います。

回答1: Intermetallics world-wide -- TiAl will enjoy five-to-eight years of purposal engineering development. The end of this period will establish real uses for the alloys or a clear view of why it failed. Failure implies that industry will loose heart in intermetallics and the field will diminish. Success implies that intermetallics are legitimate and other sustained development efforts will be possible. Europe will be a major player in the field of intermetallics for the next five years, just as the U.S. and Japan have been for the last ten years. The advanced intermetallics, such as Nb aluminides, will see a rebirth as refractory metal research and alloy development. But remember, however, serendipity has not been factored into these comments, and it is sometimes dangerous to try to predict the future.

世界的な金属間化合物研究の動きについて、チタン・アルミナイドについて、今後数年間は、目的指向の技術開発を享受できるだろう。この期間の終わりになると、合金の実用化が確立するか、何故開発が失敗したかを明らかにできるだろう。失敗というのは、産業界が金属間化合物に失望してこの分野が消滅することを意味する。成功というのは、金属間化合物が材料としての適格が認められて、開発活動が続けられることを意味している。米国と日本が過去十年にそうであったように、ヨーロッパは今後五年間で金属間化合物の分野で主役を演じるであろう。ニオブ・アルミナイドのような先端的な金属間化合物は耐熱金属の研究と合金開発として再生するであろう。しかしながら、このようなコメントにはセレンディピティは考慮に入れられず、未来を予想しようとすることはしばしば危険である。

回答2: Let the industry develop parts. Let the universities do basic research. It is time to split.

産業界は開発を担当し、大学は基礎研究をする。分担をする時である。

回答3: /

無回答

回答4: See # VIII question. From a managerial point of view, you should ensure close interaction between universities, government (national) laboratories and industry.

VIIIの問に対する回答を見ること。管理的な立場からすると、大学、国立研究所、産業界の間の密接な交流を保てるように配慮すべきである。

回答5: Not this time.

今回はコメントを控えたい.

Thank you very much for your kind cooperation.

ご協力ありがとうございました.

5.2. 国内研究者の意見

日本国内で金属間化合物の研究は活発におこなわれている。日本金属学会などの学会発表の件数も多数にのぼる。その研究内容も「超耐環境性先進材料(金属間化合物)」プロジェクトと重複するところが多く、また注目すべき成果が挙げられている。

産官学において、「超耐環境性先進材料(金属間化合物)」プロジェクトの関連分野で活躍中の研究者が、そのプロジェクトの目標、進捗について様々な期待や批判を抱いているものと思われる。本調査では、それらの研究者達に面接して5.1.章に示した調査項目にしたがい、次ページ以下に記した問答をおこなった。

面接した相手の所属先を下に記した(順不同)。

東北大学

東京大学

大阪大学

NKK

大同特殊鋼

川崎重工業

住友軽金属

住友金属工業

質問

(1) 「次世代耐環境性先進材料」について、どの程度関知しておられるでしょうか。

回答1: 毎回報告会で聴講している。

回答2: いろいろと話を聞く機会がある。

回答3: シンポジウムで成果報告を聞いている。

回答4: よく知っている。

回答5: 大いに関心があり、報告会には欠かさず出席している。

回答6: 報告会を通じて、進捗状況を興味をもって見ている。

回答7: 活動状況を報告会で聞いている。総論的な進め方の印象をもっている。

回答8: よく知っている。

(2) 国家主導でこの種のプロジェクトがおこなわれることについて、どのように考えられますか。

回答1: よいと思う。参加できなかった立場からは羨ましいと感じる。他の国家的プロジェクトとの連携・協調をとれるように調整があるとよい。

回答2: 発展性のある目的と目標設定が必要である。一般にこの種のプロジェクトでは折角のデータの解析とまとめが甘く、国家規模での仕事であればもっときちんとやるべきである。国立研究所はつまみ食いの傾向がある。このようなプロジェクトを通して、その分野で本当のスペシャリストを一人でも二人でも育て上げることができれば良いと考える。

回答3: 良い。プロジェクトには参加できなかったが、このテーマが国家プロジェクトに取り上げられていることで、社内における研究がやり易く活性化される。しかし国家全体の利益を考え、得られた知見は広く早く公表して欲しい。

回答4: 現在、日本はCatch-upから先導型への転機にある。この時期にプロジェクト的に主導することは良いし、外国でも同様な活動が進みつつある。しかし問題も多い。例えば、省庁間の区割りによる産官学の関係がある。またゴールが設定されているために、まわり道と思われる面白いことが切り捨てられてしまう。

回答5: 長期的スパンで開発をおこなうことは意味がある。成果は成功例だけでなく、問題点の提示、失敗した結果と理由、評価方法などを開示して欲しい。

回答6: 次世代プロの性格が不明確になってきているように見える。参加企業は持ちだしが多いであろうが、錦の御旗とノウハウの蓄積の利点がある。

回答7: リスクを少なくする点で良いと思う。

回答8: 研究の活性化。波及効果。

(3) 本プロジェクトは、「高比強度金属間化合物について1100°Cにおいて比強度100MPa以上、常温において3%以上の伸び、および高融点金属間化合物について1800°Cにおいて引張強さ75MPa以上、常温において3%以上の伸び、を付与することを目標とし、そのために、a.延性の改善、高温強度の向上などの性能向上を図るための材料設計、b.高純度、高精度で調整可能な溶解技術の開発、高性能な鑄型材料、凝固制御・結晶制御技術などを導入した鑄造技術の開発、c.粉末粒径、成分などが制御可能な粉末制御技術などの開発、d.耐酸化性向上のための表面処理技術などの開発を行なう」とされています。

ここに示されたプロジェクトの実行内容に関して、以下の質問にお答えください。

イ 現状の国内外の研究レベルからみて、高比強度金属間化合物(γ -TiAl)および高融点金属間化合物(Nb-Al系)について、掲げられている目標の実現可能性をどのように評価するか。

回答1: TiAlの実用化の問題点は強度・靱性と水素脆性と考える。水素の無い状況下での用途、1100°Cで酸化の心配なしに使える見通しはあるのだろうか。TiAlマトリックスの複合材は魅力がある。Nb系は他に対抗する素材が考えられる筈であり、1800°Cでの目標強度達成は期待できないだろう。

回答2: このようなプロジェクトでやるべきことは、対象・目的を定めて標準を作ることである。構造用途であれば、設計は破壊靱性や衝撃特性が重視される。

回答3: TiAlモノリシックでは無理であろう。Nb系では製造法はメカニカル・アロイイングが良いのでは。ただしNb系で耐酸化性は乏しいことを忘れてはならない。

回答4: 学問的根拠がない。とくにNb系では不可能と考える。このような条件で試験が簡単にできる状態でもない。

回答5: ある条件では達成可能かも知れない。高温強度と室温延性を同時に達成することと、3%の伸びの意味は明確でない。動的破壊靱性が評価尺度に選ばれず、脆い材料での延性が取り上げられている理由は。

回答6: 高融点元素の合金化と分散強化で高温特性は既に可能。事実上で永久伸びのないセラミックスよりも使い道はあるだろう。

回答7: この材料は温度依存性が非常に大きい。TiAlでは1100°Cは状態図上でも微妙な温度である。目標設定の根拠がわからない。

回答8: 不可能。TiAlでは α -2が不安定。分散相による強化が可能か。Nb系よりもMo-Siが優れている。

ロ 達成困難としたらその理由はなにか。

回答1: 具体的用途の設定があって、特性やプロセスがともなう。

回答2: イと共通。

回答3: 単相材料で、そのような高温強度が達成できないだろう。

回答4: Nb系ではインゴット・ルートで均一な組成は実現し難い。金属間化合物の評価尺度に延性が必要なのだろうか。靱性化や圧縮応力下での使用、複合化が鍵である。

回答5: イと共通。

回答6: 本質的な脆性材料との共存をはかる考え方を導入することが必要。

回答7: イと共通。

回答8: イと共通。

ハ 目標に対して、上記の開発アプローチは適切か。

回答1: 候補の実用化プロセスにはいろいろある。アルファ-2と共通するものもある。

回答2: 目標設定の根拠がよくわからない。

回答3: 物を作るプロセスに偏っている。特性面も高温強度にとどまらず、各種物性値・機械的性質を系統的に採取しておく必要がある。

回答4: 状態図は組織制御の基礎であり、計算機材料設計への展開が望まれる。Nb系では、アプローチとして単相と二相の選択がある。三元系による固溶体強化、第二相によるソフト化をはかる道がある。精密鑄造を可能にするためにも、第三元素の存在下を含めて、徐冷における組織・相形成の知識が必要である。

回答5: 不純物の役割解明が欲しい。粉末冶金とインゴット法との比較とHIP処理。

回答6: 非回転部品への応用、さらに比較的高い弾性率や熱伝導率あるいは耐熱衝撃特性などの利点を活かした用途を考えると良い。

回答7: 使いこなす設計を可能にする信頼性の確保と欠陥の検出などの検査方法。構造設計では、割れたら終わりという考えから、延性よりも破壊靱性と衝撃値が重視される。

回答8: 適切な分散相。目的を定めた状態図。

ニ 一般に構造材料としての金属間化合物開発における最大の隘路はなにか。

回答1: 金属材料の延長として考えられるものとそうでないものの区別が必要であろう。
歪み速度依存性や疲労の問題は重要である。伸びの目標の評価と規格はどのように
なされるのか。

回答2: 製造面からは均一性と大型化。特性面では耐環境性。

回答3: 信頼性。評価するためのデータが必要。デザインと材料が同じ土俵で取り扱え
るようにすること。

回答4: 研究開発にあたってreference stateを保持する必要が感じられる。

回答5: 粉末冶金について言えば、用途、コスト、代替候補との比較、設計基礎データ。
特性面で表面処理、接合、切削、耐摩耗性などの問題。

回答6: 表面処理、耐酸化性、接合方法。

回答7: 設計。成分コントロール、歩留り。

回答8: 表面処理法や疲労特性の把握が実用化の前提。

(4) 本プロジェクトは開発材料の目指す用途として、スペースプレーン機体やエンジン材料、ガスタービン動翼、核融合の第一壁材が挙げられています。このような用途設定について、以下の質問にお答えください。

イ 本プロジェクトのアウトプットとして期待される用途は実現可能か。

回答1: 可能とは考えるが、それらの設計に役立つデータの提示とキャラクターゼーションによる意味付けが求められよう。特性としては熱疲労や低サイクル疲労の知見が必要である。

回答2: 疑問。

回答3: 第一歩として、余りに信頼性の点で、かけはなれている。製品化・用途拡大と信頼性の接点をどこに置くか明らかでない。

回答4: 材料の個性、複合材料としての特性の把握が先決である。

回答5: 企業としてはもっと身近な用途を考える。

回答6: チタン合金と超合金の間隙を埋めるもの。耐酸化性から850℃が目標。高弾性率、強度のわりに良好な高サイクル疲労特性などが活用できるだろう。

回答7: 不明。

回答8: すぐには実現しない。

ロ これらの想定用途に対して上記の材質特性目標は適切であるか。

回答1: イと共通。

回答2: イと共通。

回答3: 高すぎる目標で非現実的。

回答4: イと共通。

回答5: イと共通。

回答6: イと共通。

回答7: 一般的な目標設定ではなく、特定した用途に適合する特性を目標にもつことが必要。

回答8: 延性が適切な評価尺度か。

ハ 本プロジェクト成果の利用と，製品・プロセスの活用イメージは整合しているか。

回答1: イと共通。

回答2: 構造材料には，接合の問題が必ず付随する。

回答3: ロと共通。

回答4: イと共通。

回答5: イと共通。

回答6: イと共通。

回答7: 身近な実用性を考えている。

回答8: ロと共通。

ニ 高比強度金属間化合物あるいは高融点金属間化合物について，上記以外により適当な用途はないか。

回答1: 水素タービン。機能として耐摩耗性がよさそうであるから，ブレーキなどに見えるかも知れない。

回答2: レジャー，スポーツ用品からはじまるだろうが，具体的にはわからない。

回答3: 具体的には言えない。

回答4: イと共通。

回答5: 比剛性の利点を活かした用途。バブルなど自動車用部品。工具類。

回答6: 自動車の往復運動部品。

回答7: 民生用途。ファインセラミックスとの競合。

回答8: 熱シールドなど。表面処理技術，熱膨張や熱サイクル特性のデータが必要。

(5) 本プロジェクトにおいて、基礎研究と応用研究は適当なバランスを保って実行されていますか。どのような基礎研究が必要と考えられるでしょうか。

回答1: 素材面では不純物の影響の定量的な解明を期待したい。特性面では評価の規準を確立して欲しい。

回答2: 組織と特性の関係の定量的理解がどのように進んでいるか。構造物としての利用に不可欠な非破壊検査方法を考えておかねばならない。さらに使う立場での基礎となる情報を提供できること。

回答3: 製造と利用技術両面から変形状態図(マップ)ができると良い。物性や機械的性質については、評価方法と規格化が求められる。製造技術の基盤として、特性を抽出す、組織制御や合金化の指導原理を確立すること。

回答4: 国家プロジェクトとして展開するのであれば、超電導の研究者たちとの連携をもつことが良いのではないか。

回答5: 特性評価方法の規準確立とデータシートの作成。とくに動的破壊靱性の評価とデータ。酸素の影響を明確にできるとよい。

回答6: 酸化と固溶元素(共有結合Alの活性化)。成分的中と偏析制御、不純物の影響。NDEの開発。金属間化合物の共有結合性の理解と利用。

回答7: 個々の用途の設計に反映できるデータ。材料信頼性の確保(Weibul)。

回答8: いろいろな研究グループがある。

(6) 本プロジェクトの研究開発体制についてどのように思われますか。

回答1: 設計側やユーザー側の意見が反映されると良い。

回答2: 人件費をプロジェクト費用に取り込むかの運用面の問題を感じる。

回答3: 自由研究の確保。

回答4: 研究者のポテンシャル向上を。

回答5: メーカーとユーザーの接点を。山へ登る道は多い、探索の道を狭めないように。また国際的視野での研究開発が必要。

回答6: 材料開発主体の色彩が強くて中途半端な印象をもつ。規則化相の本質的な理解と利用につながる研究とキャラクタリゼーションに力を入れてもよいのではないか。

回答7: 公募によるプロセス、製品、用途のイメージは妥当であったか。

回答8: 産官学の一体化。

(7) 本プロジェクトは間もなく前半を終了し、中間評価がおこなわれることになっています。今後のプロジェクトの進め方に関するご意見と希望をお示しください。

回答1: 国際協調下での展開を考えて良いのではないか。

回答2: 専門家育成の視点が希薄であると感じる。現局面は基礎研究であり、この成果を利用する立場では、材料評価の問題が最優先されるべきであろう。

回答3: 斬新的な特性改善。

回答4: 目的に即した材料設計の考え方の基盤になる状態図の作成。機械的性質とくに破壊靱性の評価と支配因子の解明、および環境効果の理解を深めることなど。

回答5: 失敗例を含めたデータの開示。

回答6: 材料開発では、高温強度向上のためには分散強化や析出効果の利用が有効である。基礎的な研究としては添加元素の占有サイトと正方晶化程度あるいは共有結合性の改質など、金属間化合物の本質的理解につながること。評価面では、試験条件の規格化を期待する。研究グループがいろいろ生まれているが、力の分散とならないように。

回答7: スーパー・アルファ2の教訓。性能バランスのとりかた。

回答8: 材料の複合化。

5.3. 研究者意見・評価の一覧表

以上，総計13名の研究者の意見と評価を下の表にまとめた。

「超耐環境性先進材料(金属間化合物)」プロジェクト

に関する国内外研究者の意見集約表

() 内数字は海外の研究者

設問	Yes		No
本プロジェクトの認知度	よく知っている 9(1)	存在を知っている 4(4)	知らない
国が実施することについて	良い 8(1)	運営次第 2(1)	無回答 3(3)
研究目標—材料特性値	達成可能	部分的達成可能 3(2)	達成は無理 10(3)
研究目標—用途	適当 4(4)	疑問 9(1)	不適当
研究項目・アプローチ	妥当	おおむね妥当 13(5)	妥当でない
研究体制	良い 2(2)	運営次第 3(3)	無回答 3

本ヒアリングおよびアンケートでは，質問項目について正否や適否，肯定・否定を問う形式ではない。また設問も黒白を定める意図でなされていない。したがって上記のような整理は，回答者と質問者の意向を適切に反映するものではない恐れが強いことを付記する。

6. 超耐環境性先進材料(金属間化合物)関連の最近の研究成果資料リスト

最近の「超耐環境性先進材料(金属間化合物)」に関する研究成果を示す資料のリストを以下に掲げた。このリストには三種類の情報が含まれる。

先ず「超耐環境性先進材料(金属間化合物)」の開発目標に掲げる宇宙航空用材料を専門に取り扱う国際会議として、米国ASM Internationalの主催する"AeroMat"がある。この会議には最も先端的な研究開発成果が発表される場であり、その様子を把握することは「超耐環境性先進材料(金属間化合物)開発」プロジェクトの進め方にも大いに参考となるところが多いと考えられる。

二番目の資料リストは、日本科学技術情報センターの情報システム(JOIS)より検索した文献情報を取り纏めたものである。本報告書に掲載したものは、1992年にJOISに収録された文献である。これらの中から、「超耐環境性先進材料(金属間化合物)」に関連する資料を、

(1) Ti-Al系金属間化合物

- a. プロセス
- b. 性質・組織
- c. 複合材・複合化
- d. 基礎
- e. 総論

(2) 高融点金属間化合物(Nb-Al系)

に分けて以下に配列してある。

三番目は登録あるいは公開特許資料リストである。Ti-Al系金属間化合物と高融点金属間化合物に分けて掲載した。

6.1. "AEROMAT"(Advanced Aerospace Materials/Processes Conference)における金属間化合物の成果発表

「超耐環境性先進材料(金属間化合物)」の主要開発目標の一つは宇宙航空材料としての用途である。このような先端的宇宙航空材料の研究開発に関して、ASM Internationalでは1990年以来、"AeroMat"と称する国際会議が開催されている。この会議では、多種類の材料と関連プロセスの開発成果が報告されている。そのいくつかは参加者限定のセッションとなっている。それらの中で1990年から1992年になされた金属間化合物に関連する報告の題目を以下に掲げた。

Aero Mat'90

HIGH TEMPERATURE INTERMETALLICS

Session I: Process and Composite Development

Powder Processing of High Temperature Intermetallics:

N. Stoloff, Rensselaer Polytechnic Institute

Solidification of Intermetallics:

R. Mehrabian, University of California

Stability of Reinforcement Materials in Refractory Aluminides:

T. G. Nieh, J. S. Lee, Lockheed Missiles & Space Co.

Characterization of Refractory Metal-Based Intermetallics and Composites:

R. Mahapatra, E. W. Lee, T. A. Kircher, Naval Air Development Center

Coatings for Stress Accommodation in Fiber Reinforced Intermetallic Composites:

R. C. Krutenat, Avco Specialty Materials

Session II: Mechanical Behavior

Refractory Silicides and Silicide Matrix Materials:

P. J. Meschter, McDonnell Douglas Research Laboratories

MoSi₂ Composites:

D. H. Carter, P. Martin, Los Alamos National Laboratories

Approaches and Potential for Toughening of Intermetallics:

T. Evans, University of California

Properties of Refractory Beryllides:

T. G. Nieh, J. S. Lee, Lockheed Missiles & Space Co.

Potential Application of Refractory Beryllides in Aerospace Structures:

J. Ryder, K. Lauritis, T. Mukherji, Lockheed Aeronautical Systems Co.

Session III: Mechanical Behavior (continued)

Niobium/Niobium Silicide In-Situ Composites:

D. Dimiduk, M. Mendiratta, Wright Research and Development Center

Creep of Intermetallics:

R. Hecht, M. Maloney, D. Shah, Pratt & Whitney Aircraft

An Overview of Nickel and Iron Aluminide Technology:

V. K. Sikka, J. R. Weir, Jr., Oak Ridge National Laboratories

High Temperature Interfacial Stability and Mechanical Behavior of IC-221 Ni₃Al Composites:

P. C. Brennan, W. H. Kao, J. M. Yang, The Aerospace Corp.

Cyclic Deformation Response of Poly Crystalline Ni₃Al as a Function of Temperature, Composition, and Strain Rate:

G. Webb, S. D. Antolovich, Georgia Institute of Technology

Session IV: Environmental Stability

Environmental Stability of Intermetallic Compounds:

G. H. Meier, University of Pittsburgh

Silicides as Refractory Materials for Advanced Gas Turbines:

N. Bornstein, United Technologies Research Center

Hydrogen Embrittlement of Intermetallics:

N. Stoloff, Rensselaer Polytechnic Institute

Oxidation Behavior of Non-Oxide Ceramics:

E. Courtright, Battelle Northwest Laboratories

Effect on Rapid Solidification and Ion Implantation on the Oxidation Behavior on Nb-Ti-Al-Cr-V Alloys:

G. H. Meier, University of Pittsburgh

Session V: Environmental Stability (continued)

Oxidation Limits for NiAl:

J. Doychak, J. Smialek, C. A. Barrett, NASA Lewis Research Center

Oxidation of Advanced Intermetallics for Naval Gas Turbines:

T. A. Kircher, R. Mahapatra, E. W. Lee, Naval Air Development Center

Effect of Dispersed Particles on the Oxidation Behavior of TiNb₃Al:

R. A. Perkins, Lockheed Missiles & Space Co.

Cyclic Oxidation of Aluminide Coated Ti_3Al :

J. L. Smialek, M. A. Gedwill, P. K. Brindley, NASA Lewis Research Center

A New Approach to Control Oxygen Permeation in High Temperature Coatings:

E. Courtright, Battelle Northwest Laboratories

TITANIUM ALUMINIDES

Session I: Applications

Titanium Aluminides: An Overview:

H. A. Lipsitt, Wright State University

U. S. Air Force Applications of Titanium Aluminides:

T. Broderick, AFWAL Materials Lab.

Applications of Titanium Aluminides in Advanced Aircraft Engines:

J. C. Williams, General Electric Co.

Applications of Titanium Aluminides on the National Aerospace Plane:

A. D. Bakalyar, Rockwell International

Production of Alpha-Two and Gamma Titanium Aluminide Mill Products:

P. J. Bania, TIMET Corp.

Session II: Processing

Processing and Properties of Powder Metallurgy Titanium Aluminides:

J. A. Graves, Howmet Corp.

Microstructures and Mechanical Properties of Sheets and Foils of Ti_3Al Based Alloys:

S. C. Jha, J. A. Forster, A. K. Pandey, R. G. Delagi, Texas Instruments, Inc.

Texture Development in Titanium Aluminides:

D. B. Knorr, Rensselaer Polytechnic Institute

Superplastic Forming and Diffusion Bonding of Titanium Aluminides:

C. C. Bamptom, Rockwell International Science Center

Microstructure and Properties of Titanium Aluminide Foils:

C. Bassi, J. A. Peters, Sulzer Brothers Ltd.

Session III: Mechanical Properties

Recent Development of Gamma Titanium Aluminides:

S. C. Huang, General Electric Co.

An Assessment of the Fatigue and Fracture Capability of Titanium Aluminides in Aerospace Applications:

J. M. Larsen, K. A. Williams, S. J. Balsone, M. A. Stucke, Wright Research and Development Center

Fracture Toughness of Alpha-Two Titanium Aluminides:

B. J. Marquardt, General Electric Co.

Creep of Alpha-Two Titanium Aluminides:

A. W. Thompson, Carnegie-Mellon University

Creep Properties of TiAl Alloys Containing Hard Particles:

D. H. Carter, R. M. Aikin, W. S. Gibbs, P. L. Martin, Los Alamos National Laboratory

Session IV: Mechanical Properties and Environmental Effects

Heat Treatment of Titanium Aluminide Castings for Property Optimization:

D. J. Evans, L. S. Steele, I. Weiss, D. Eylon, University of Dayton

Extra Low Oxygen Content of Super Alpha-two:

S. M. Tuominen, Teledyne Wah Chang

Environmental Effects on Titanium Aluminides:

J. A. Hall, Allied Signal Corp.

Hydrogen Effects in Titanium Aluminides:

D. Matejczk, N. E. Paton, C. G. Rhodes, Rockwell International

Corrosion Behavior of Titanium Aluminides:

B. Bavarian, S. Dastmalchi, California State University

Aero Mat'91

TITANIUM ALUMINIDES

Session I: Phase Transformations and Environmental Effects

Update on Binary and Ternary Phase Diagrams:

J. H. Perepezko, University of Wisconsin-Madison, H. A. Lipsitt, Wright State University

Microstructure Evolution in Gamma TiAl-Based Alloys:

M. J. Kaufman, University of Florida

The Kinetics of Microstructure Development in Cast Near-Gamma Titanium Aluminide Alloys:

P. A. McQuay, Wright Laboratory, S. E. Semiatin, Battelle Memorial Institute

Phase Relationships in Alpha-2 Alloys:

C. H. Ward, Wright Laboratory, B. J. Marquardt, General Electric Aircraft Engines, H. A. Lipsitt, Wright State University

Environmental Effects in Titanium Aluminide Alloys:

J. A. Hall, Allied-Signal Aerospace Co.

Evaluation of the Environmentally Assisted Cracking of Aluminide Intermetallic Compounds:

B. Bavarian, S. Harutouni, California State University, M. Zamanzadeh, PSI-Pittsburgh Testing Labs

Session II: Wrought Processing

Superplastic Forming of Titanium Aluminides:

M. W. Mahoney, Rockwell International Science Center

Processing of Titanium Aluminides:

O. Berteau, RMI Titanium Co.

Sheet Metal Processing of Alpha-2 Titanium Aluminides:

T. L. Wardlaw, P. J. Bania, Timet Corp.

Processing and Properties of Hot-Rolled Super Alpha-2 Titanium Aluminide Foils:

J. A. Peters, C. Bassi, M. Blank-Bewersdorff, Sulzer-Innotec

Hot Working of Titanium Aluminides - An Overview:

S. L. Semiatin, Battelle, P. McQuay, Wright Laboratory

Thermomechanical Processing of Ternary Alloyed Gamma Titanium-Aluminides:

Y. Mizuhara, N. Masahashi, M. Matsuo, K. Hashimoto, M. Kimura, T. Hanamura, H. Fujii, R&D Laboratories, Nippon Steel Corp.

Session III: Casting and Joining

Repair Welding of Cast Ti-48Al-2Cr-2Nb:

T. J. Kelly, General Electric Aircraft Engines

Facecoats for Gamma Alloys:

T. J. Kelly, GE Aircraft Engines, L. M. Wheeler, Tiline, Inc.

Creep and High-Temperature Deformation of Cast Two-Phase Gamma TiAl Alloys:

R. W. Hayes, Metals Technology, Inc. B. London, Howmet Corp.

Diffusion Joining of Intermetallic Compound, TiAl:

Y. Nakao, K. Shinozaki, M. Hamada, Osaka University

Joining of Titanium Aluminides:

W. A. Baeslack III, The Ohio State University, D. H. Phillips, GE Aircraft Engines, D. Gnanamuthu, Rockwell International Science Center

Session IV: Mechanical Properties and Microstructure

Structure/Property Relationships in Ductile Gamma Alloys - An Overview:

P. L. Martin, C. G. Rhodes, Rockwell International Science Center

Processing, Microstructure, Mechanical Properties and Oxidation Behavior of a Ti-44Al-11Nb Alloy:

R. Mahapatra, E. W. Lee, J. Waldman, Naval Air Development Center, J. H. Perepezko, University of Wisconsin-Madison

Controlling Fracture Behavior in Gamma Titanium Aluminides:

R. E. Anderson, D. R. Clemens, M. Tojek, Pratt & Whitney

The Effect of Microstructure and Temperature on the LCF Behavior of an Alpha-2 Titanium Aluminide Alloy:

K. A. Williams, Wright Laboratory, C. Meyrick, The Ohio State University

Effects of Microstructure on the Propagation of Small Fatigue Cracks in Ti-24Al-11Nb:

K. S. Ravichandran, J. M. Larsen, Wright Laboratory

Aero Mat'92

HIGH TEMPERATURE ALUMINIDES

Session I: Titanium Aluminides I

Synthesis of High-Temperature Aluminides via Reactive Hot Compaction:

E. Jenson, L. Lu, R. Abbaschian, University of Florida

Processing of High Temperature Intermetallic Matrix Composites:

N. S. Stoloff, D. E. Alman, K. Shaw, Rensselaer Polytechnic Institute, M. Otsuki, Mitsubishi Materials Corp.

Fatigue and Fracture Behavior of Ductile-Phase Toughened Intermetallic-Matrix Composites:

K. T. Venkateswara Rao, R. O. Ritchie, University of California

Consolidation Studies on Rapidly Solidified Novel NbAl₃-Based Alloys:

R. V. Raman, S. V. Rele, M. Hebsur, CERACON, Inc.

Session II: Titanium Aluminides II

Phase Transformations in Ti-Al and Ti-Al-Ta Alloys:

M. L. Weaver, M. J. Kaufman, University of Florida

In-Situ g TiAl Composite Containing Titanium Carbide:
R. Ranger, MARCO Materials

Deformation and Fracture of Fiber-Reinforced Titanium and Titanium Aluminide Matrix Composites:

J. M. Yang, S. M. Jeng, University of California

Influence of Phase Distribution on Creep and High Temperature Deformation of a Ti₃Al Base Alloy:

M. A. Morris, University of Neuchatel

Session III: Titanium Aluminides III

The Influence of Chromium on the Microstructure and Properties of NiAl:

J. D. Cotton, M. J. Kaufman, University of Florida

Ductile Fiber Reinforced NiAl Composites:

H. W. Doty, R. Abbaschian, University of Florida

Synthesis of Nanocrystalline NiAl by Cryomilling:

M. J. Luton, B. Huang, C. Klein, Exxon Research and Engineering Co.

Predicting the Oxidation-Limited Lifetime and Maximum Use Temperature of β NiAl:

J. A. Nesbitt, C. A. Barrett, J. Doychak, E. J. Vinarcik, NASA Lewis Research Center

Session IV: Titanium Aluminides IV

Combustion Synthesis of TiAl Intermetallic:

B. Mishra, S. Pritchett, J. J. Moore, Kroll Institute for Extractive Metallurgy, Colorado School of Mines

Evaluation of Plasma Transferred Arc Synthesized Titanium Aluminide:

M. Babi, N. Bhandari, Plasmatherm Systems Pvt. Ltd.

A Comparison Analysis of the Dislocation Structure in TiAl under Active Loading and Creep:

B. A. Greenberg, Institute of Metal Physics

METAL MATRIX COMPOSITES

Session I: Cast Metal Matrix Composites I

Keynote: A Review of Cast Composites:

J. Cornie, Massachusetts Institute of Technology

Advances in Pressure Infiltration Casting of Metal Matrix Composites:

A. Cook, P. S. Werner, PCAST Equipment Co.

Influence of Silicon Carbide(SiC) Platelets and Aluminum Nitride(AlN) Particulates on the Thermal and Mechanical Properties of 6101 Aluminum:

J. B. Clark, J. V. Foltz, Naval Surface Warfare Center

Highly Loaded Aluminum Metal Matrix Composite Castings:

D. Halbert, J. Burke, P. Niskanen, Lanxide Corp.

Recent Advances in the Centrifugal Castings of Silicon Carbide/Aluminum Tubes:

S. D. Karmarkar, A. P. Divecha, S. Hoover, J. Kerr, W. Ferrando,
Naval Surface Warfare Center

Investment Cast MMC Production Capability:

S. Kennerknecht, Cercast Inc.

Session II: Cast Metal Matrix Composites II

High Strength Alumina Reinforced 7000 Series Matrix Composites:

D. J. Lloyd, M. Skibo, Alcan International Ltd.

The Microstructure and the Volume Fraction of Particles Incorporated into Spray Formed Metal Matrix Composites:

P. P. Maher, University of Oxford

Effect of Reinforcement Size and Distribution on Properties of Microballoon/Metal Matrix Composites:

S. P. Rawal, B. R. Lanning, M.S. Misra, Martin Marietta Aerospace

Low Cost MMCs for Electronic Packaging:

M. K. Premkumar, D.I. Yun, R. R. Sawtell, Alcoa Technical Center

6.2. Ti-Al系金属間化合物に関する文献

6.2.1. プロセス

TiAlのコールドクルーシブルレビテーション溶解における溶湯過熱度の研究
三輪謙治, 小林慶三, 二宮三男 (名工試)
名古屋工業技術試験所報告 VOL. 41, NO. 2 PAGE. 91 - 97 1992

金属間化合物の溶湯鍛造法による成形技術
西田義則, 井沢紀久 (名工試)
工業材料 VOL. 40, NO. 9 PAGE. 48 - 52 1992

MA法を利用した粉末冶金プロセスで超微細結晶の焼結体をつくる
時実正治 (立命大)
工業材料 VOL. 40, NO. 8 PAGE. 54 - 57 1992

プラズマ回転電極法により作製したTi-47at.%Al粉末の微細組織
西田稔, 千葉昂 (熊大); 熊谷良平 (日溶工)
材料とプロセス VOL. 5, NO. 2 PAGE. 740 1992

タービン部品用鑄造可能TiAl合金の開発
Development of castable TiAl alloy for turbine components.
NAKAGAWA Y G, YOKOSHIMA S, MASTUDA K (右播)
Mater Sci Eng A VOL. 153, NO. 1/2 PAGE. 722 - 725 1992

ナノ結晶相アルミニウム化合物の合成, 加工およびその性質
Synthesis, processing and properties of nanophase aluminide.
CHANG H, HOEFLER J, ALTSTETTER C, AVERBACK R (Univ. Ill.)
Mater Sci Eng A VOL. 153, NO. 1/2 PAGE. 676 - 678 1992

ニアガンマチタンアルミナイドの熱間加工過程における塑性軟化とミクロ組織変化
Flow Softening and Microstructure Evolution during Hot Working of Wrought Near-Gamma Titanium Aluminides.
SEMIATIN S L, FREY N (Battelle); EL-SOUDANI S M (Rockwell); BRYANT J D (Allied Signal)
Metall Trans A VOL. 23, NO. 6 PAGE. 1719 - 1735 1992

反応粉砕と熱間成形による高硬度TiAl合金
High hardness TiAl alloys through reaction milling and hot compaction.
SUZUKI T, INO T, NAGUMO M (早大)
Mater Sci Forum VOL. 88/90 PAGE. 639 - 646 1992

メカニカルアロイングによる軽合金の合成
Light metals synthesis by mechanical alloying.
SURYANARAYANA C, FROES F H (Univ. Idaho)
Mater Sci Forum VOL. 88/90 PAGE. 445 - 452 1992

反応ボールミルによるMA非晶質Ti-Al系の高品質粉末の製造
High quality powder production of MA amorphous TiAl system by reaction ball milling.
KOBAYASHI S, KIMURA H (防衛大)
Mater Sci Forum VOL. 88/90 PAGE. 97 - 104 1992

ガンマチタンアルミニウム化合物の造塊における凝固の不均一性に及ぼす加工熱処理の影響

Effect of thermomechanical treatments on solidification inhomogeneity in ingot metallurgy gamma titanium aluminides.

BRYANT J D,MAISANO J R,WINTER D T,BARRETT A R H(Martin Marietta); SEMIATIN S L(Battelle)

Intermet Matrix Compos PAGE. 59 - 64 1990

急速凝固したTi₃Al+Nb金属間合金の相安定性

Phase stability in a rapidly solidified.

HSIUNG L M,KUNTZ T A,WADLEY H N G(Univ. Virginia)

Low Density High Temp Powder Metall Alloy PAGE. 21 - 34 1991

真空圧延接合法と異種金属の接合

迎静雄, 西尾一政, 加藤光昭(九工大)

熱処理 VOL. 32, NO. 3 PAGE. 120 - 123 1992

熱間圧縮で反応焼結したTiAl

Reaction-sintered hot-pressed TiAl.

RAWERS J C,WRZESINSKI W R(Bureau of Mines)

J Mater Sci VOL. 27, NO. 11 PAGE. 2877 - 2886 1992

予め合金化したチタンアルミニウム化合物粉末の急速全方向性圧縮固化(ROC)

Rapid omnidirectional compaction(ROC) of titanium aluminide prealloyed powders.

PORTER W J,OSBORNE N R,EYLON D(Univ. Dayton);

CLIFFORD J P(AATD)

Adv Powder Metall VOL. 1990, NO. Vol 2 PAGE. 243 - 257 1990

チタンアルミニウム化合物粉末圧粉体中の超微細構造の発達

Development of ultrafine microstructures in titanium aluminide powder compacts.

APGAR L S,EYLON D(Univ. Dayton)

Adv Powder Metall VOL. 1990, NO. Vol 2 PAGE. 173 - 186 1990

溶湯鍛造法

西田義則, 井沢紀久(名工試)

金属 VOL. 62, NO. 6 PAGE. 27 - 31 1992

チタン基材料についてのナノ組織処理

Nanostructure Processing for Titanium-Based Materials.

FROES F H,SURYANARAYANA C,CHEN G-H,FREFER A(Univ. Idaho);

HYDE G R(U. S. Bureau of Mines)

JOM VOL. 44, NO. 5 PAGE. 26 - 29 1992

溶湯鍛造法によるTiAl金属間化合物の製造

井沢紀久, 西田義則, 白柳格, 加藤清隆(名工試)

日本鋳物協会全国講演大会講演概要集 VOL. 120th PAGE. 35 1992

Y₂O₃+ZrO₂耐火材料によるTiAlの casting

小林慶三, 三輪謙治, 二宮三男, 高柳猛(名工試)

J日本鋳物協会全国講演大会講演概要集 VOL. 120th PAGE. 34 1992

TiAlのコールドクルーシブルレベテーション溶解に関する基礎的検討

三輪謙治, 小林慶三, 二宮三男(名工試)

日本鋳物協会全国講演大会講演概要集 VOL. 120th PAGE. 33 1992

反応焼結法により作製したTiAl金属間化合物の破壊じん性

水越秀雄, 渋谷和久 (住軽金)

日本金属学会誌 VOL. 56, NO. 3 PAGE. 342 - 346 1992

押出により素粉末から作った γ 基Tiアルミ化物の微細構造と機械的性質

Microstructure and mechanical properties of γ base titanium aluminide produced from extruded elemental powders.

DAHMS M, SCHMELZER F, WILDHAGEN B (GKSS-Forschungszentrum); SEEGER J (Technische Univ. Hamburg-Harburg)

Mater Sci Technol VOL. 8, NO. 4 PAGE. 359 - 362 1992

金属間化合物基材料の加工経路の実行可能性

Comparative viability of processing routes for intermetallic based materials.

FEEST E A, TWEED J H (Harwell Lab.)

Mater Sci Technol VOL. 8, NO. 4 PAGE. 308 - 316 1992

TiAl系金属間化合物の爆発粉体成形プロセスの開発 第3報 初期密度・衝撃波強度の成形・反応性への影響
玉川純 (東大 院); 相沢龍彦, 木原諄二 (東大 工); 田中克巳 (化技研)

塑性加工春季講演会講演論文集 VOL. 1992, NO. 2 PAGE. 633 - 636 1992

真空誘導融解, コールドクルシブル誘導融解, 電子ビーム融解によるチタンアルミナイド中の酸素濃度変化

Changes in Oxygen Contents of Titanium Aluminides by Vacuum Induction, Cold Crucible Induction and Electron Beam Melting.

SAKAMOTO K, YOSHIKAWA K, KUSAMICHI T, ONOYE T (神鋼)

ISI J Int VOL. 32, NO. 5 PAGE. 616 - 624 1992

メカニカルアロイング中のTi-Al系の固相転移の過程

The process of solid state transformation of Ti-Al system during mechanical alloying.

QI M, ZHU M, LI G B, YANG D Z, KUO K H (大連工大)

Mater Sci Forum VOL. 88/90 PAGE. 355 - 359 1992

メカニカルアロイング法によるTi-Al, Ti-Si, およびSi-W系の結晶粒微細化と非晶質化

Microstructural refinement & amorphization in Ti-Al, Ti-Si and Si-W system by mechanical alloying.

AHN J-H, CHUNG H S (Korea Inst. Machinery & Metals,); WATANABE R, PARK Y H (東北大)

Mater Sci Forum VOL. 88/90 PAGE. 347 - 354 1992

難加工性材料の熱間加工に関する研究 第1報 金属間化合物TiAlの熱間加工特性

吉田忠継, 水沼晋, 阿高松男, 正橋直哉, 中島浩衛 (新日鉄); 松尾宗次 (日鉄技術情報セ)

塑性加工春季講演会講演論文集 VOL. 1992, NO. 1 PAGE. 63 - 66 1992

反応合成法を用いた金属間化合物TiAlの接合

角博幸, 山本政弘, 渡辺一功, 上西啓介, 小林紘二郎 (阪大)

溶接学会全国大会講演概要 NO. 50 PAGE. 168 - 169 1992

TiAl金属間化合物の接合

恩沢忠男, 鈴木暁男, 高橋邦夫, 山西秀策, 横山大 (東工大)

溶接学会全国大会講演概要 NO. 50 PAGE. 166 - 167 1992

Pseudo-HIP法 (PHIP) によって作成したTiAlの引張強度

深水秀範, 石原慶一, 新宮秀夫 (京大); 柏井茂雄 (兵庫県工技セ)

材料とプロセス VOL. 5, NO. 2 PAGE. 750 1992

CaOるつばによるTiAlの機械的性質に及ぼす組織の影響
佐久間信夫, 三井達郎, 倉部兵次郎, 辻本得蔵 (金材技研)
材料とプロセス VOL. 5, NO. 2 PAGE. 749 1992

TiAl系金属間化合物の爆発粉体成形 爆轟条件と初期混合粉密度—2
玉川純, 相沢龍彦, 木原じゅん二 (東大); 田中克巳 (化技研)
材料とプロセス VOL. 5, NO. 2 PAGE. 751 1992

メカニカルアロイングによるTiAlの形成
TiAl formation by mechanical alloying.
SURYANARAYANA C, SUNDARESAN R, FROES F H (Univ. Idaho)
Mater Sci Eng A VOL. 150, NO. 1 PAGE. 117-121 1992

Ti-Al系のメカニカルアロイング
Mechanical alloying of the Ti-Al system.
BURGIO N, GUO W, MAGINI M, PADELLA F, MARTELLI S (E. N. E. A.);
SOLETTA I (Univ. Sassari)
Struct Appl Mech Alloy PAGE. 175-183 1990

航空宇宙応用のためのMA合金
MA alloys for aerospace applications.
ELLIOTT I C, HACK G A J (Inco)
Struct Appl Mech Alloy PAGE. 15-24 1990

α 2チタニウムのアルミニウム化物における溶接熱影響部の解析
Characterization of the Weld Heat-Affected Zone in an
Alpha-Two Titanium Aluminide.
BAESLACK W A III (Ohio State Univ.);
PHILLIPS D, SCARR G K (GE Aircraft Engines)
Mater Charact VOL. 28, NO. 1 PAGE. 61-73 1992

メカニカルアロイングにより作製したAl/Nb, Ti/Al粉末の形態変化と性質
Change in Morphology of Mechanically Alloyed Nb/Al
and Ti/Al Powders and Their Material Properties.
PARK Y H, HASHIMOTO H, WATANABE R (東北大)
J Adv Sci VOL. 3, NO. 4 PAGE. 223-230 1991

TiAlの冷間圧延した集連晶 (PST) 結晶の回復と再結晶
Recovery and recrystallization of cold-rolled
polysynthetically twinned (PST) crystals of TiAl.
OH M H, INUI H, NAKAMURA A, YAMAGUCHI M (京大)
Acta Metall Mater VOL. 40, NO. 1 PAGE. 167-176 1992

元素粉末の処理によるチタンアルミナイド箔の製造
Titanium aluminide foils by elemental powder
processing.
DAHMS M (GKSS); SCHWANTES S (Dornier Luftfahrt)
Mater Sci Eng A VOL. 151, NO. 1 PAGE. L27-L29 1992

チタンアルミニウムの溶接
Schweissen von Titanaluminium.
HORN H
VDI Ber NO. 917 PAGE. 369-372 1992

アルファ2チタン・アルミニウム金属間化合物の冷間圧延挙動に及ぼす集合組織の影響

Effect of texture on the cold rolling behavior of an alpha-two titanium aluminide.

SUKONNIK I M(Texas Instruments); SEMIATIN S L(WL);

HAYNES M(Rensselaer Polytechnic)

Scr Metall Mater VOL. 26, NO. 6 PAGE. 993 - 998 1992

ロストワックス法により鑄造されたガンマ相に近いチタン-アルミニウム金属間化合物の定常クリープ変形

Steady-state creep deformation of investment cast near-gamma titanium aluminide.

WHEELER D A, LONDON B, LARSEN D E JR(Howmet)

Scr Metall Mater VOL. 26, NO. 6 PAGE. 939 - 944 1992

TiAlのCaOるつは溶解とその機械的性質

佐久間信夫, 三井達郎, 倉部兵次郎, 辻本得蔵(金材技研)

鉄と鋼 VOL. 78, NO. 4 PAGE. 680 - 687 1992

元素粉末冶金によって作製されたTi-35重量%Alの微細構造に及ぼす熱処理の影響

Influence of heat treatment on microstructure of Ti-35wt. %Al prepared by elemental powder

ANG G-X, DAHMS M(GKSS)

Scr Metall Mater VOL. 26, NO. 5 PAGE. 717 - 722 1992

新しい機能が期待される非平衡金属間化合物の合成

山口正治, 小岩昌宏, 新宮秀夫, 白井泰治, 西谷滋人, 乾晴行(京大)

日産科学振興財団研究報告書 VOL. 14 (1991) PAGE. 35 - 39 1992

軽量耐熱TiAl系金属間化合物の恒温鍛造

芦田喜郎, 宮本淳之, 藤綱宣之, 大山英人(神鋼)

R&D/神戸製鋼技報 VOL. 42, NO. 1 PAGE. 68 - 71 1992

チタンアルミ金属間化合物の恒温鍛造

春日克也, 望月俊男, 野中保宏, 田村至(三菱鋼); 鈴木光一(長岡技科大)

三菱製鋼技報 VOL. 25, NO. 1/2 PAGE. 42 - 46 1991

γ -TiAl基合金鑄塊中の α 2相の形態

有富敬芳, 小川一行, 本間一広, 辻本得蔵(金材技研)

材料とプロセス VOL. 4, NO. 5 PAGE. 1703 1991

チタンアルミナイドの抵抗拡散溶接

Resistance Diffusion Bonding of a Titanium Aluminide.

COX A(Edison Welding); BAESLACK W A III(Ohio State Univ.);

ZORKO S, ENGLISH C(GE Aircraft)

Diffus Bond 2 PAGE. 158 - 170 1991

燃焼合成の応用〔3〕金属間化合物の新製造法の開発

海江田義也(金材技研); 尾家正(共立窯業原料)

ニューセラミックス VOL. 5, NO. 3 PAGE. 87 - 91 1992

燃焼合成の反応〔2〕固体-液体間反応

日比野敦, 渡辺龍三(東北大)

ニューセラミックス VOL. 5, NO. 3 PAGE. 71 - 77 1992

航空・宇宙機器における接合・複合技術

坂本昭(次世代金属・複合材料研究開発協)

塑性加工シンポジウム VOL. 14 2nd PAGE. 11 - 23 1992

バック圧延加工の解析モデル

Analytical modeling of the pack LI A F, ANBAJAGANE R,
GUNASEKERA J S (Ohio Univ.); KERR W (WRDC/MLLN)
Trans North Am Manuf Res Inst SME VOL. 19th PAGE. 29-36
1991

Ti-Ta-Al合金の凝固パス

Solidification paths of Ti-Ta-Al alloys.
MCCULLOUGH C, VALENCIA J J, LEVI C G (Univ. California);
MEHRABIAN R (Carnegie Mellon Univ.);
MALONEY M, HECHT R (Pratt & Whitney)
Acta Metall Mater VOL. 39, NO. 11 PAGE. 2745-2758 1991

Ti-rich TiAl金属間化合物PREP-HIP材の加工と組織

和蛇田隆之(立命大); 磯西和夫(茨城大); 高山康(日溶工); 時実正治(立命大)
日本金属学会講演概要 VOL. 109th PAGE. 170 1991

CaOるつばによるTiAlの機械的性質に及ぼすV, Cr, Mnの影響

三井達郎, 佐久間信夫, 倉部兵次郎, 辻本得蔵(金材技研)
材料とプロセス VOL. 4, NO. 5 PAGE. 1701 1991

低酸素TiAlの溶解と casting 材の特性

坂本浩一, 草道龍彦, 吉川克之, 尾上俊雄(神鋼)
材料とプロセス VOL. 4, NO. 5 PAGE. 1702 1991

ニア・ガンマチタンアルミナイドの偏析と均質化

Segregation and Homogenization of a Near-Gamma
Titanium Aluminide.
SEMIATIN S L (Battelle); MCQUAY P A (WL)
Metall Trans A VOL. 23, NO. 1 PAGE. 149-161 1992

TiAl金属間化合物の燃焼合成における反応機構

日比野敦, 渡辺龍三(東北大)
日本金属学会誌 VOL. 55, NO. 11 PAGE. 1256-1262 1991

Ti3Al+TiAl casting 合金における界面境界に関するTEM観察

TEM investigation on the interfacial boundaries in
as-cast Ti3Al+TiAl alloy.
ZHAO L, TANGRI K (Univ. Manitoba)
Acta Metall Mater VOL. 39, NO. 10 PAGE. 2209-2224 1991

Ti-Al系金属間化合物の製法の現状

渋谷和久(住軽金)
アルトピア VOL. 22, NO. 3 PAGE. 13-19 1992

燃焼合成の応用 [3] 内熱型 擬HIP法

新宮秀夫(京大)
ニューセラミックス VOL. 5, NO. 2 PAGE. 85-88 1992

TiAl系金属間化合物の爆発粉体成形プロセスの開発 第2報 粉体初期相対密度・衝撃波構造の影響及び爆発粉体成形性の評価

玉川純, 相沢龍彦, 木原じゅん二(東大); 田中克巳(化技研)
塑性加工連合講演会講演論文集 VOL. 42nd, NO. 1 PAGE. 91-94 1991

Ti-Al系のメカニカルアロイング

Mechanical alloying of the Ti-Al system.

GUO W, MARTELLI S, BURGIO N, MAGINI M, PADELLA F, PARADISO E
(E. N. E. A. - Casaccia); SOLETTA I (Univ. Sassari)
J Mater Sci VOL. 26, NO. 22 PAGE. 6190 - 6196 1991

メカニカルアロイングにより作製したTi-Alアモルファス粉末の性質

PARK Y H, 山内克久, 橋本等, 渡辺龍三 (東北大)

J粉体および粉末冶金 VOL. 38, NO. 7 PAGE. 914 - 919 1991

冷間圧延したチタニウムアルミナイド及びチタニウム合金箔

Cold Rolled Titanium Aluminide and Titanium Alloy
Foil.

JHA S C, FORSTER J A, PANDEY A K, DELAGI R G (Texas Instruments)

ISI J Int VOL. 31, NO. 10 PAGE. 1267 - 1271 1991

金属間化合物TiAlの拡散接合

Diffusion Bonding of Intermetallic Compound TiAl.

NAKAO Y, SHINOZAKI K, HAMADA M (阪大)

ISI J Int VOL. 31, NO. 10 PAGE. 1260 - 1266 1991

冷間押出ししたチタン-アルミ混合粉末を熱間静水圧プレスして製作したチタンアルミナイド

Titanium-Aluminides by Hot Isostatic Pressing of Cold
Extruded Titanium-Aluminium Powder Mixtures.

DAHMS M, WILDHAGEN B (GKSS); SEEGER J (Hamburg-Harburg工大);
SMARSLY W (Motoren- und Turbinen-Union)

ISI J Int VOL. 31, NO. 10 PAGE. 1093 - 1099 1991

TiAl基金属間化合物の相反応と製造法

Phase Reactions and Processing in the Ti-Al based
Intermetallics.

PEREPEZKO J H (Univ. Wisconsin)

ISI J Int VOL. 31, NO. 10 PAGE. 1080 - 1087 1991

VIM法によるTiAl金属間化合物の融解及び casting

A Study on the Melting and Casting of TiAl
Intermetallic Compound by VIM Process.

PARK P-C, CHOI C-W, HONG C-P (Yonsei Univ.)

J Korean Inst Met VOL. 29, NO. 6 PAGE. 562 - 569 1991

プラズマアーク融解によるチタンとTiAl金属間化合物の連続 casting

A Study on the Continuous Casting of Titanium and
TiAl Intermetallic Compound by Plasma Arc Melting
Process.

PARK P-C, CHOI C-W, HONG C-P (Yonsei Univ.)

J Korean Inst Met VOL. 29, NO. 4 PAGE. 416 - 423 1991

高性能チタンアルミナイド成形体

High integrity titanium aluminide compacts.

PORTER W J, OSBORNE N R, EYLON D (Univ. Dayton)

Met Powder Rep VOL. 46, NO. 10 PAGE. 48 - 55 1991

特集 エッセンTiAl 衝撃超高压下で金属間化合物をつくる

白波瀬章 (京大)

バウンダリー VOL. 7, NO. 10 PAGE. 43 - 46 1991

チタニウムアルミナイドの製造, 性質, 及び製品化

Production, Characteristics, and Commercialization of Titanium Aluminides.

FROES F H, SURYANARAYANA C (Univ. Idaho)

ISI J Int VOL. 31, NO. 10 PAGE. 1235-1248 1991

飛行機体構造用として有望なガンマTi-Al化合物の生産技術開発

Development in Processing Technology of Gamma Titanium Aluminides for Potential Application to Airframe Structures.

MATSUO M (新日鉄)

ISI J Int VOL. 31, NO. 10 PAGE. 1212-1222 1991

TiAl型粉末冶金金属間化合物の高温における機械的性質

Mechanical Properties of TiAl-type P/M Intermetallics at Elevated Temperatures.

KUSAKA K (大同鋼)

ISI J Int VOL. 31, NO. 10 PAGE. 1207-1211 1991

Ti-Al基金属間化合物の恒温鍛造

Isothermal Forging of TiAl-based Intermetallic Compounds.

FUJITSUNA N, OHYAMA H, MIYAMOTO Y, ASHIDA Y (神鋼)

ISI J Int VOL. 31, NO. 10 PAGE. 1147-1153 1991

プラズマ回転電極法により製造したTiリッチなTiAl粉末をホットプレスした焼結体の組織と機械的性質

Structure and Mechanical Properties TiAl Powder Produced by the Plasma Rotating Electrode Process.

TOKIZANE M, FUKAMI T (立命大); INABA T (兵庫県工試)

ISI J Int VOL. 31, NO. 10 PAGE. 1088-1092 1991

チタンアルミニウム化合物融液中での窒化物の析出過程

A study of nitride precipitation sequence in titanium aluminide melts.

KAD B, OLIVER B F (Univ. Tennessee)

Microstruct Sci VOL. 18 PAGE. 431-439 1990

反応焼結によるTi-47.3at%Al-1.7at%Mn系金属間化合物の製作と金属組織

Microstructure Study of Ti-47.3at%Al-1.7at%Mn Intermetallic Compound Fabricated by Reactive-sintering.

SHIBUE K, KUMAGAI M (住軽金)

住友軽金属技報 VOL. 32, NO. 4 PAGE. 221-227 1991

機械的合金化法によるAl/Al₃Ti二相合金の合成

Synthesis of Al/Al₃Ti two-phase alloys by mechanical alloying.

SRINIVASAN S, CHEN S R, SCHWARZ R B (Los Alamos National Lab.)

US DOE Rep LA-UR-91-3051 PAGE. 19p 1991

メカニカルアロイングによる(Ti, Nb)Al系金属間化合物の製造

小林信一, 木村博 (防衛大)

材料とプロセス VOL. 4, NO. 5 PAGE. 1683 1991

鋳造あるいは溶融紡糸したAl₃TiおよびAl₃Ti+Cu中の結晶構造と相の相関

Crystal structure and phase relationships in as-cast and melt spun Al₃Ti and Al₃Ti plus copper.

FRAZIER W E (Naval Air Development Center);

BENCI J E (Wayne State Univ.)

Scr Metall Mater VOL. 25, NO. 10 PAGE. 2267-2272 1991

衝撃密化／高温静水圧プレスによるチタンアルミナイド

Shock Densification/Hot Isostatic Pressing of Titanium Aluminide.

SHANG S-S, MEYERS M A (Univ. California)

Metall Trans A VOL. 22, NO. 11 PAGE. 2667-2676 1991

水中衝撃波を利用したTi-Al合金粉末の衝撃固化

千葉昂 (熊大)

バウンダリー VOL. 7, NO. 10 PAGE. 39-42 1991

金属間化合物TiAlの粉末超塑性ウオームダイ・バック鍛造

鳥阪泰憲 (機械技研)

粉体粉末冶金協会大会講演概要集 VOL. 1991, NO. 春季 PAGE. 232 1991

メカニカルアロイングにより作製したTi-Alアモルファス粉末の性質

朴容浩, 橋本等, 渡辺龍三 (東北大)

J粉体粉末冶金協会大会講演概要集 VOL. 1991, NO. 春季 PAGE. 46 1991

燃焼合成法を利用したTiNi, TiAl金属間化合物の新製造法の開発

海江田義也, 太田口稔, 小黒信高 (金材技研); 尾家正 (共立窯業); 平山尚志 (日本タングステン)

日本金属学会会報 VOL. 30, NO. 6 PAGE. 554-556 1991

TiAl合金粉末の射出成形法への適用

加藤清隆, 野崎佳彦 (名工試)

粉体粉末冶金協会大会講演概要集 VOL. 1991, NO. 春季 PAGE. 146 1991

TiAl鋳造時の鑄型成分の挙動

小林慶三, 阪口康司, 三輪謙治, 二宮三男, 高柳猛 (名工試)

日本鋳物協会全国講演大会講演概要集 VOL. 119th PAGE. 25 1991

SHS粉末より得られたTiAl金属間化合物の諸特性

Some Properties of TiAl Intermetallic Compound Obtained by Sintering of SHS Powder.

MISHIMA A (日本タングステン); SHITE S (共立窯業)

Nippon Tungsten Rev VOL. 24 PAGE. 27-33 1991

TiAl精密鋳造品と酸素の影響 続 金属間化合物を鋳物にしたら

出川通, 鎌田勤也 (三井造船)

バウンダリー VOL. 7, NO. 10 PAGE. 35-38 1991

先端材料の溶接・接合技術の動向

中尾嘉邦 (阪大)

素形材 VOL. 32, NO. 9 PAGE. 9-16 1991

チタンアルミナイドの接合

Joining titanium aluminides.

Mater Des VOL. 12, NO. 2 PAGE. 101-102 1991

チタン・アルミニウム化合物粉末焼結体の加工熱処理法による微細組織制御
Microstructure Control of Titanium Aluminide Powder
Compacts by Thermochemical Processing.
APGAR L S, EYLOD (Univ. Dayton)
ISI J Int VOL. 31, NO. 8 PAGE. 915 - 921 1991

粉末冶金法による金属間化合物焼結体
時実正治 (立命大)
バウンダリー VOL. 7, NO. 9 PAGE. 34 - 38 1991

TiAlよ, とべ 恒温鍛造によるジェットエンジン部品の試作
前田尚志 (住金)
バウンダリー VOL. 7, NO. 9 PAGE. 16 - 21 1991

だましだましのテクニック TiAlの恒温鍛造と高温変形
三田尾真司 (NKK)
バウンダリー VOL. 7, NO. 9 PAGE. 9 - 15 1991

TiAl粉末の射出成形で焼結材料の製作
野崎佳彦 (名工試)
バウンダリー VOL. 7, NO. 9 PAGE. 30 - 33 1991

反応焼結法によるTiAlの製造
渋谷和久, 金睦淳 (住軽金)
バウンダリー VOL. 7, NO. 9 PAGE. 26 - 29 1991

恒温鍛造でTiAl部品をつくる
宮本淳之 (神鋼)
バウンダリー VOL. 7, NO. 9 PAGE. 22 - 25 1991

美しく変身できるかTiAl チタン・アルミナイド金属間化合物の実用化への課題
松尾宗次 (日鉄技術情報セ)
バウンダリー VOL. 7, NO. 9 PAGE. 2 - 8 1991

イオン注入したNi₃Al及びTiAlの硬さ
Hardness of ion-implanted Ni₃Al and TiAl.
WAS G S (Kernforschungsanlage)
J Mater Res VOL. 6, NO. 8 PAGE. 1615 - 1618 1991

ガンマチタンアルミナイドにおける連続冷却中のアルファ相の分解と等温変態
The decomposition of alpha phase during continuous
cooling and isothermal transformation in gamma
titanium aluminide.
MCQUAY P A, DIMIDUK D M (WL/MLLM); SEMIATIN S L (Battelle).
Scr Metall Mater VOL. 25, NO. 7 PAGE. 1689 - 1694 1991

金属間化合物TiAlの動的再結晶時の集合組織形成におよぼす変形条件の影響
Effect of deformation conditions on texture formation
during dynamic recrystallization of the intermetallic
compound TiAl.
FUKUTOMI H, TAKAGI S, AOKI K, KAMIJO T (横国大); NOBUKI M (金材技研);
MECKING H (Technische Univ. Hamburg - Harburg)
Scr Metall Mater VOL. 25, NO. 7 PAGE. 1681 - 1684 1991

6.2.2. 性質・組織

Ti₃Al-Nb-Mo-V合金の顕微鏡組織および引張特性

Microstructure and tensile properties of a Ti₃Al-Nb-Mo-V alloy.

JIA T, WANG B, ZOU D, MA H, ZHONG Z (Central Iron and Steel Research Inst., Beijing)

Mater Sci Eng A VOL. 152, NO. 1/2 PAGE. 317-321 1992

金属間化合物 Super Alpha 2 の顕微鏡組織および機械的性質

The microstructure and mechanical properties of the intermetallic compounds Super Alpha 2.

PROSKE G, LUETJERING G, ALBRECHT J (Technical Univ. Hamburg-Harburg); HELM D, DAEUBLER M (MTU Munich)

Mater Sci Eng A VOL. 152, NO. 1/2 PAGE. 310-316 1992

TiAl の均一性および機械的性質

Homogeneity and mechanical properties of TiAl.
YAMAUCHI S, SHIRAIISHI H (Osaka Titanium Co.)

Mater Sci Eng A VOL. 152, NO. 1/2 PAGE. 283-287 1992

レーザー溶融反応によるチタンのアルミナ化とその耐酸化性

新谷昌宣(青山学院大 大学院); 竹本幹男(青山学院大 理工)

JN F0006A (0917-0480) 材料と環境

VN VOL. 41, NO. 7 PAGE. 470-475 1992

Cr 粉と Cr₂O₃ との混合物をバックし, 1, 200 K で前酸化することによる TiAl 材の耐酸化性の改善

TANIGUCHI S, SHIBATA T, SAKON S (Osaka Univ.)

材料と環境 VOL. 41, NO. 7 PAGE. 453-460 1992

γ-TiAl 中の強化に関するタンタルの相互作用

Interaction of tantalum with reinforcements in γ-TiAl.
NEWKIRK J, DIXON D (Univ. Missouri-Rolla)

Mater Sci Eng A VOL. 153, NO. 1/2 PAGE. 662-667 1992

アルミナイド金属間化合物の環境補助割れの評価

Evaluation of the environmentally assisted cracking of aluminide intermetallic compounds.

BAVARIAN B (California State Univ.); HARUTOUNI S (Trace Lab.); ZAMANZADEH M (Pittsburgh Testing Lab.)

Mater Sci Eng A VOL. 153, NO. 1/2 PAGE. 613-618 1992

α₂ (Ti₃Al) 及び γ (TiAl) チタンアルミナイド合金の初期酸化

The initial oxidation of α₂ (Ti₃Al) and γ (TiAl) titanium aluminide alloys.

SHANABARGER M R (Univ. California-Santa Barbara)

Mater Sci Eng A VOL. 153, NO. 1/2 PAGE. 608-612 1992

金属間化合物 TiAl の繰返し酸化抵抗

Cyclic oxidation resistance of an intermetallic compound TiAl.

SHIMIZU T, IIKUBO T, ISOBE S (Daido Steel Co.)

Mater Sci Eng A VOL. 153, NO. 1/2 PAGE. 602-607 1992

Ti-Nb-Al三元系における金属間化合物合金の酸化及び機械的挙動

Oxidation and mechanical behavior of intermetallic alloys in the Ti-Nb-Al ternary system.

CHEN G, SUN Z, ZHOU X (Univ. Science and Technology Beijing)

Mater Sci Eng A VOL. 153, NO. 1/2 PAGE. 597-601 1992

TiAl金属間化合物の耐酸化性に及ぼすけい素及びニオブの効果

Effect of silicon and niobium on oxidation resistance of TiAl intermetallics.

MAKI K, SHIODA M, SAYASHI M (Nissan Motor); SHIMIZU T, ISOBE S (Daido Steel)

Mater Sci Eng A VOL. 153, NO. 1/2 PAGE. 591-596 1992

γ -TiAlの酸化物の性質：表面科学の研究

Oxide properties of a γ -TiAl: a surface science study.

TAYLOR T N, PAFFETT M T (Los Alamos National Lab.)

Mater Sci Eng A VOL. 153, NO. 1/2 PAGE. 584-590 1992

チタンアルミナイド合金中の水素の影響

Effects of hydrogen in titanium aluminide alloys.

THOMPSON A W (Carnegie Mellon Univ.)

Mater Sci Eng A VOL. 153, NO. 1/2 PAGE. 578-583 1992

金属間化合物の酸化挙動

The oxidation behavior of intermetallic compounds.

MEIER G H, PETTIT F S (Univ. Pittsburgh)

Mater Sci Eng A VOL. 153, NO. 1/2 PAGE. 548-560 1992

γ チタンアルミナイドの高靱性

A high-toughness γ -titanium aluminide.

DEVE H E (3M, MN, USA); EVANS A G (Univ. California);

SHIH D S (McDonnell Douglas)

Acta Metall Mater VOL. 40, NO. 6 PAGE. 1259-1265 1992

2種類の casting α -2チタンアルミニウム化合物合金の引張およびクリープ特性に及ぼす微細構造の影響

Effects of microstructure on tensile and creep properties of two cast α -2 titanium aluminide alloys.

EYLON D, APGAR L S, PORTER W J (Univ. Dayton); SAQIB M,

WEISS I (Wright State Univ); EVANS D J (WRDC/MLLM)

Microstruct Prop Relatsh Titan Alum Alloys PAGE. 423-435 1991

α 2基チタンアルミニウム化合物合金のクリープ挙動に及ぼす微細構造の影響

Effects of microstructure on the creep behavior of α 2-based titanium aluminide alloys.

SOBOYEJO W O, LEDERICH R J, SCHWARTZ D S (McDonnell Douglas)

Microstruct Prop Relatsh Titan Alum Alloys PAGE. 407-422 1991

Ti-25Al-25Nb近傍のチタンアルミニウム化合物の機械的性質

The mechanical properties of titanium aluminides near Ti-25Al-25Nb.

ROWE R G (General Electric)

Microstruct Prop Relatsh Titan Alum Alloys PAGE. 387-398 1991

ラメラのない2相のガンマ基チタンアルミニウム化物合金の変形挙動

Deformation behaviour of a lamella-free dual-phase gamma-base titanium aluminide alloy.

DAHMS M, PFULLMANN T, WILDHAGEN B (GKSS-Forschungszentrum); SEEGER J (TU Hamburg-Harburg)

Microstruct Prop Relatsh Titan Alum Alloys PAGE. 337-344 1991

γ -チタンアルミニウム化物のクリープ変形挙動に及ぼすアルミニウム含有量の影響

Effect of aluminum content on creep deformation behavior of γ -titanium aluminides.

MITAO S, TSUYAMA S, MINAKAWA K (NKK)

Microstruct Prop Relatsh Titan Alum Alloys PAGE. 297-312 1991

鑄造ガンマチタンアルミニウム化物合金に関する微細構造-性質の関連の予備的研究

A preliminary study of the microstructure-property relationships in cast gamma titanium aluminide alloys.

LONDON B (Howmet); KELLY T J (GE Aircraft Engines)

Microstruct Prop Relatsh Titan Alum Alloys PAGE. 285-295 1991

ガンマTiAl合金の水素脆性

Hydrogen embrittlement in gamma TiAl alloys.

MEYN D A (Naval Research Lab.)

Microstruct Prop Relatsh Titan Alum Alloys PAGE. 275-281 1991

加工熱処理を行ったガンマチタンアルミニウム化物の超塑性

Superplasticity of thermomechanically processed gamma titanium-aluminides.

HASHIMOTO K, MASAHASHI N, MIZUHARA Y, MATSUO M (Nippon Steel)

Microstruct Prop Relatsh Titan Alum Alloys PAGE. 253-262 1991

単相TiAl金属間化合物の圧縮クリープの粒度依存性におよぼす組成の影響

Influence of composition on the grain size dependence of compressive creep in single-phase TiAl intermetallics.

TAKAHASHI T, OIKAWA H (Tohoku Univ.)

Microstruct Prop Relatsh Titan Alum Alloys PAGE. 227-235 1991

2相ガンマチタンアルミニウム化物の破壊プロセス

Fracture processes in a two-phase gamma titanium aluminide alloy.

CHAN K S (Southwest Research Inst.); KIM Y-W (Metcut-Materials Research)

Microstruct Prop Relatsh Titan Alum Alloys PAGE. 179-196 1991

TiAlの機械的挙動におよぼす結晶粒径および水素化物の影響

Effect of grain size and hydrides on mechanical behavior of TiAl.

THOMPSON A W(Carnegie Mellon Univ.); CHU W-Y(Univ. Science and Technology, Beijing)

Microstruct Prop Relatsh Titan Alum Alloys PAGE. 165-177 1991

γ/α 2チタンアルミニウム化物の機械的挙動に及ぼす微細構造の影響

The Influence of Microstructure on the Mechanical Behavior of γ/α 2 Titanium Aluminides.

DOWLING W E JR, ALLISON J E(Ford Motor); WORTH B D, JONES J W(Univ. Michigan)

Microstruct Prop Relatsh Titan Alum Alloys PAGE. 123-133 1991

TiAl基合金における微細構造的性質の相関

Microstructure-property correlation in TiAl-base alloys.

HUANG S-C(General Electric); SHIH D S(General Electric Aircraft Engines,)

Microstruct Prop Relatsh Titan Alum Alloys PAGE. 105-122 1991

ガンマチタンアルミニウム化物の微細構造形成と機械的性質

Microstructural evolution and mechanical properties in gamma titanium aluminides.

KIM Y-W(Metcut-Materials Research)

Microstruct Prop Relatsh Titan Alum Alloys PAGE. 91-103 1991

変形した γ/α 2チタンアルミニウム化物における転位構造

Dislocation structures in deformed γ/α titanium aluminides.

DONLON W T, DOWLING W E JR, ALLISON J E(Ford Motor)

Microstruct Prop Relatsh Titan Alum Alloys PAGE. 75-88 1991

γ 基チタンアルミニウム化物における変形と界面の関係

Relationships between deformation and interfaces in γ -based titanium aluminides.

SCHWARTZ D S, SOBOYEJO W O(McDonnell Douglas)

Microstruct Prop Relatsh Titan Alum Alloys PAGE. 65-74 1991

γ チタンアルミニドの変態靱性化に対するTi-Al-V β 相の設計

Design of Ti-Al-V β phase for transformation toughening of γ -titanium aluminide.

GRUJIC M(Clemson Univ.)

Mater Sci Eng A VOL. 154, NO. 1 PAGE. 75-78 1992

ガンマ基チタンアルミニドの破壊挙動の検討： $\alpha+\gamma$ 及び α 2+ γ 相域における焼なまし効果

An Investigation of the Fracture Behavior of Gamma-Based Titanium Aluminides: Effects of Annealing in the $\alpha+\gamma$ and α 2+ γ Phase Fields.

SOBOYEJO W O(Edison Welding Inst.); SCHWARTZ D S, SASTRY S M L(McDonnell Douglas)

Metall Trans A VOL. 23, NO. 7 PAGE. 2039-2059 1992

高温におけるTi₃Al基アルミ化物における副次的な割れ成長

Sub-critical crack growth in a Ti₃Al-based aluminide at elevated temperatures.

PENTON R J T, BOWEN P (Univ. Birmingham); COPE M T (Rolls Royce)

Mater Sci Eng A VOL. 153, NO. 1/2 PAGE. 508-513 1992

Ti-24Al-11Nb中の小クラックの成長挙動における組織とクラック形状の効果

Microstructure and crack-shape effects on the growth behavior of small fatigue cracks in Ti-24Al-11Nb.

RAVICHANDRAN K S, LARSEN J M (WL/MLLN)

Mater Sci Eng A VOL. 153, NO. 1/2 PAGE. 499-507 1992

高温におけるTi-24Al-11Nbのクラック成長時の周期と保持時間の効果

Frequency and hold time effects on crack growth of Ti-24Al-11Nb at high temperature.

PARIDA B K, NICHOLAS T (WL/MLLN)

Mater Sci Eng A VOL. 153, NO. 1/2 PAGE. 493-498 1992

単調および繰り返し荷重下のTiAlの高温でのクラック成長抵抗

Elevated temperature crack growth resistance of TiAl under monotonic and cyclic loading.

JAMES A W, BOWEN P (Univ. Birmingham)

Mater Sci Eng A VOL. 153, NO. 1/2 PAGE. 486-492 1992

延性TiNb強化 γ -TiAl金属間化合物基複合材の疲労クラック伝搬抵抗

Fatigue crack propagation resistance of ductile TiNb-reinforced γ -TiAl intermetallic matrix composites.

VENKATESWARA RAO K T, RITCHIE R O (Univ. California)

Mater Sci Eng A VOL. 153, NO. 1/2 PAGE. 479-485 1992

規則化金属間化合物合金のへき開破断

Cleavage fracture of ordered intermetallic alloys.

YOO M H, FU C L (Oak Ridge National Lab.)

Mater Sci Eng A VOL. 153, NO. 1/2 PAGE. 470-478 1992

規則 α 2及び超 α 2チタンアルミナイドの超塑性挙動

Superplastic behavior of regular α 2 and super α 2 titanium aluminides.

YANG H S, JIN P, MUKHERJEE A K (Univ. California)

Mater Sci Eng A VOL. 153, NO. 1/2 PAGE. 457-464 1992

耐酸化性、クリープ強さ及び破壊靱性改善のための γ 基チタンアルミナイドの合金改質

Alloy modification of γ -base titanium aluminide for improved oxidation resistance, creep strength and fracture toughness.

TSUYAMA S, MITAO S, MINAKAWA K (NKK)

Mater Sci Eng A VOL. 153, NO. 1/2 PAGE. 451-456 1992

TiAlのクリープに対する異なった初期結晶粒度及び組成の影響

Different origins of grain size and composition effects on creep in TiAl.

MARUYAMA K, TAKAHASHI T, OIKAWA H (Tohoku Univ.)

Mater Sci Eng A VOL. 153, NO. 1/2 PAGE. 433-437 1992

チタンアルミナイドのクリープ

Creep in titanium aluminides.

OIKAWA H(Tohoku Univ.)

Mater Sci Eng A VOL. 153, NO. 1/2 PAGE. 427-432 1992

微結晶チタン合金の超塑性と機械的性質

OT Superplastizitaet und mechanische Eigenschaften fei
nkristalliner Titanlegierungen.

VON CZARNOWSKI P

Fortschr Ber VDI Reihe 05 NO. 265 PAGE. 121p 1992

Ti-Al金属間化合物の耐キャビテーション・エロージョン性

岡田庸敬, 服部修次(福井大 工)

日本材料学会学術講演会前刷 VOL. 41st PAGE. 179-181 1992

金属間化合物TiAlのクリープ試験

上野明, 岸本秀弘, 有留浩治(豊田工大); 近藤拓也(トヨタ自動車)

日本材料学会学術講演会前刷 VOL. 41st PAGE. 188-190 1992

TiAlの高温での圧縮変形挙動について

東健司, 海津浩一, 谷村真治(大阪府大); 柳部淳道(大阪府大 大学院)

日本材料学会学術講演会前刷 VOL. 41st PAGE. 185-187 1992

金属間化合物TiAlの室温疲労試験と微視的疲労損傷に関する研究

上野明, 岸法秀弘, 浅木洋(豊田工大); 近藤拓也(トヨタ自動車)

日本材料学会学術講演会前刷 VOL. 41st PAGE. 182-184 1992

高純度TiAl金属間化合物の延性

Ductility of High Purity TiAl Intermetallic Compound.
MURATA Y, MORINAGA M, TAKEDA Y(Toyohashi Univ. Technolog
y)

Mater Trans JIM VOL. 33, NO. 4 PAGE. 419-421 1992

Ti-53. 4mol%Al合金のクリープ中におけるしきい応力の存在

The existence of a threshold stress during creep of a
Ti-53. 4mol. % Al alloy.

WOLFENSTINE J(Univ. California,)

Mater Lett VOL. 12, NO. 3 PAGE. 203-206 1991

ナノ結晶金属間化合物 構造と機械的性質

Nanocrystalline intermetallic compounds—structure and
mechanical properties.

HAUBOLD T, BOHN R, BIRRINGER R, GLEITER H(Univ. Saarlandes)

Mater Sci Eng A VOL. 153, NO. 1/2 PAGE. 679-683 1992

Ti3Al-Nb-V-Mo合金の長時間安定性

A study on long-term stability of Ti3Al-Nb-V-Mo alloy.
WANG B, JIA T, ZOU D, MA H, ZHONG Z(Central Iron and Steel
Research Inst., Beijing)

Mater Sci Eng A VOL. 153, NO. 1/2 PAGE. 422-426 1992

加工ニアガンマチタンアルミナイドの熱間加工過程における流動軟化とミクロ組織変化

Flow Softening and Microstructure Evolution during Ho
t Working of Wrought Near-Gamma Titanium Aluminides.

SEMIATIN S L, FREY N(Battelle); EL-SOUDANI S M(Rockwell I
nternational); BRYANT J D(Allied Signal)

Metall Trans A VOL. 23, NO. 6 PAGE. 1719-1735 1992

構造用金属間化合物の設計における準安定相

Metastable phases in the design of structural intermetallics.

NASH P, KIM H, CHOO H, ARDY H, HWANG S J (Illinois Inst. Technology); NASH A S (Marquette Univ.)

Mater Sci Forum VOL. 88/90 PAGE. 603 - 610 1992

ガンマTiAlでの破壊靱性の理解

Understanding Fracture Toughness in Gamma TiAl.

CHAN K S (Southwest Research Inst.)

JOM VOL. 44, NO. 5 PAGE. 30 - 38 1992

Ti/Al系金属間化合物材料の酸化に及ぼす酸素分圧および窒素分圧の影響

富塚功, 中沢静夫, 宮崎昭光, 小泉裕 (金材技研)

腐食防食講演集 VOL. 1992 PAGE. 123 - 126 1992

高温用金属間化合物の脆化と亀裂成長

Embrittlement and crack growth in high temperature intermetallics.

HIPPSLEY C A (Harwell Lab.); STRANGWOOD M (Univ. Birmingham)

Mater Sci Technol VOL. 8, NO. 4 PAGE. 350 - 358 1992

熱-機械的サイクル下におけるチタンアルミナイドの亀裂成長速度モデリング

Crack growth rate modeling of a titanium-aluminide alloy under thermal-mechanical cycling.

PERNOT J J (Air Univ.)

AD Rep AD-A-244119 PAGE. 319 p 1991

γ 基チタンアルミナイドにおける破壊靱性のラメラ方位依存の異方性

Lamellar orientation dependent anisotropy of fracture toughness in γ -base titanium aluminide.

MITAO S, ISAWA T, TSUYAMA S (NKK)

Scr Metall Mater VOL. 26, NO. 9 PAGE. 1405 - 1410 1992

層状組織制御TiAlの変形に及ぼす α_2 相の役割

馬越佑吉, 中野貴由, 柴柳敏哉 (大阪大 工)

材料とプロセス VOL. 5, NO. 2 PAGE. 753 1992

高融点金属元素 (Hf, Ta, W, Re) 含有TiAl基合金の機械的性質

信木稔, 辻本得蔵 (金材技研)

材料とプロセス VOL. 5, NO. 2 PAGE. 754 1992

航空機エンジン材料中での高温亀裂伝搬

Elevated Temperature Crack Growth in Aircraft Engine Materials.

NICHOLAS T (Materials Lab.); MALL S (Air Force Inst.)

ASTM Spec Tech Publ NO. 1122 PAGE. 143 - 157 1992

Super α_2 チタンアルミナイド及び γ' ニッケルアルミナイドの超塑性挙動の解析

Analyses of the Superplastic Behavior in Super α_2 Titanium Aluminide and γ' Nickel Aluminide.

YANG H S, JIN P, MUKHERJEE A K (Univ. California)

Mater Trans JIM VOL. 33, NO. 1 PAGE. 38 - 44 1992

Ti-24Al-11Nb合金中の水素化物の変態に及ぼす水素の効果
Effects of hydrogen on the hydride transformation in
Ti-24Al-11Nb alloys.
ROZENAK P, DANGUR M (Ben-Gurion Univ.)
J Mater Sci VOL. 27, NO. 9 PAGE. 2273-2278 1992

微細結晶粒のTiAl金属間化合物の機械的性質 II 延性-脆性遷移
Mechanical behaviour of fine grained TiAl intermetall
ic compound—II. Ductile-brittle transition.
IMAYEV R M, KAIBYSHEV O A, SALISHCHEV G A (Inst. Metals S
uperplasticity)
Acta Metall Mater VOL. 40, NO. 3 PAGE. 589-595 1992

微細結晶粒のTiAl金属間化合物の機械的挙動 I 超塑性
Mechanical behaviour of fine grained TiAl intermetall
ic compound—I. Superplasticity.
IMAYEV R M, KAIBYSHEV O A, SALISHCHEV G A (Inst. Metals S
uperplasticity)
Acta Metall Mater VOL. 40, NO. 3 PAGE. 581-587 1992

チタンアルミナイド合金における水素の溶解度
Hydrogen solubility in a titanium aluminide alloy.
CHU W-Y, THOMPSON A W, WILLIAMS J C (Carnegie Mellon Uni
v.)
Acta Metall Mater VOL. 40, NO. 3 PAGE. 455-462 1992

チタン-アルミニウム合金, Ti3Al, TiAl, TiAl3の表面反応性
Surface reactivity of titanium-aluminum alloys: Ti3 A
l, TiAl, and TiAl3.
MENCER D E JR, HESS T R, MEBRAHTU T, COCKE D L, NAUGLE D G
(Texas A&M Univ.)
J Vac Sci Technol A VOL. 9, NO. 3 Pt 2 PAGE. 1610-1615 1991

二相系チタンアルミナイドの超塑性挙動
Superplastic Behavior of Two-Phase Titanium Aluminide
s.
CHENG S C, SHERBY O D (Stanford Univ.); WOLFENSTINE J (Univ.
California)
Metall Trans A VOL. 23, NO. 5 PAGE. 1509-1513 1992

Ti-Al系金属間化合物のクリープ特性の研究
及川洪 (東北大 工)
新生資源協会研究報告書 VOL. 1990 PAGE. 71-75 1992

TiAl金属間化合物中 $\alpha 2$ 相の酸素固定化
Oxygen scavenging effect of the $\alpha 2$ phase in the TiAl
intermetallic compound.
UEMORI R, HANAMURA T, MORIKAWA H (Nippon Steel)
Scr Metall Mater VOL. 26, NO. 6 PAGE. 969-974 1992

水溶液およびメタノール中でのチタン-アルミニウム金属間化合物の応力腐食割れ
Stress corrosion cracking of titanium aluminide alloy
s in aqueous solution and methanol.
ZHANG Y, WANG Y-B, CHU W-Y, HSIAO C-M (Univ. Science and Te
chnology, Beijing); THOMPSON A W (Carnegie Mellon Univ.)
Scr Metall Mater VOL. 26, NO. 6 PAGE. 925-928 1992

TiAl中の脆性亀裂の開始と低速安定成長

Initiation and slow stable growth of brittle cracks in TiAl.

GAO K-W, WANG Y-B, CHU W-Y, HSIAO C-M (Univ. Sci. and Tech., Beijing); THOMPSON A W (Carnegie Mellon Univ.)

Scr Metall Mater VOL. 26, NO. 5 PAGE. 813-817 1992

Ti₂AlNb金属間化合物の機械的挙動に及ぼす微細構造の影響

The effect of microstructures on mechanical behaviors of Ti₂AlNb intermetallic compounds.

LIMING W, MEI Y (Harbin Inst. Technology, Harbin); DUNXU Z, DONG Z, QIGONG C (Central Iron and Steel Research Inst., Beijing)

Scr Metall Mater VOL. 26, NO. 5 PAGE. 781-785 1992

チタン-アルミニウム合金の疲労き裂成長に及ぼす応力比の効果

Effect of stress ratio on fatigue crack growth in a titanium aluminide alloy.

PARIDA B K, NICHOLAS T (Material Directorate)

Int J Fract VOL. 52, NO. 3 PAGE. R51-R54 1991

チタンアルミナイド合金Ti-24Al-11Nbの脆性破壊に及ぼす水素の効果

Hydrogen Effects on Brittle Fracture of the Titanium Aluminide Alloy Ti-24Al-11Nb.

CHU W-Y, THOMPSON A W (Carnegie Mellon Univ.)

Metall Trans A VOL. 23, NO. 4 PAGE. 1299-1312 1992

高温酸化性環境中でのアルミ化チタンの防食薄膜

Thin coatings for protecting titanium aluminides in high-temperature oxidizing environments.

WIEDEMANN K E, TAYLOR P J (Analytical Services and Materials); CLARK R K, WALLACE T A (NASA Langley Research Center)

Environ Eff Adv Mater PAGE. 107-121 1991

溶融硝酸塩によるアルミナイドの腐食

Corrosion of aluminides by molten nitrate salt.

TORTORELLI P F, BISHOP P S (Oak Ridge National Lab.)

Environ Eff Adv Mater PAGE. 91-105 1991

加熱吸収したガンマ基アルミ化チタンにおける水素の溶解度及び水素化物形成

Hydrogen solubility and hydride formation in a thermally charged gamma-based titanium aluminide.

BOODEY J B (Naval Air Development Center); GAO M, WEI R P (Lehigh Univ.)

Environ Eff Adv Mater PAGE. 57-65 1991

チタンアルミナイド合金の環境の影響

Environmental effects in titanium aluminide alloys.

THOMPSON A W (Carnegie Mellon Univ.)

Environ Eff Adv Mater PAGE. 21-33 1991

Cr含有Ti₃Al+TiAl合金の熱処理時の微細構造変化

Microstructure evolution during heat treatment of a Cr-bearing Ti₃Al+TiAl alloy.

ZHENG Y, ZHAO L, TANGRI K (Univ. Manitoba)

Scr Metall Mater VOL. 26, NO. 2 PAGE. 219-224 1992

Ti3Al 基合金の超塑性挙動

An initial study of the superplastic behaviour of a Ti3Al-based alloy.

STRANGWOOD M, HIPPSLEY C A (AEA Technology); GINGELL A, WALLACH E R (Univ. Cambridge)

J Mater Sci Lett VOL. 11, NO. 6 PAGE. 317-320 1992

二つのガンマTi-アルミニウム基金属間化合物の機械的挙動

Aspects on mechanical behavior of two gamma Ti-aluminide base intermetallics.

NAZMY M, STAUBLI M (ABB Power Generation); ANTON D (United Technologies Res.)

Scr Metall Mater VOL. 26, NO. 1 PAGE. 105-108 1992

材料の高温における変形と破壊 金属間化合物の耐熱性評価における長時間強度の重要性

及川洪 (東北大 工)

日本金属学会講演概要 VOL. 109th PAGE. 118 1991

TiAl2 基三元系 (Fe 又は Ni) チタンアルミナイドについて

Study on TiAl2-based ternary (Fe or Ni) titanium aluminides.

DURLU N, INAL O T (New Mexico Inst. Mining and Technology)

J Mater Sci VOL. 27, NO. 5 PAGE. 1175-1178 1992

TiAl 単結晶の機械的性質

川畑武 (東北大)

日本金属学会会報 VOL. 30, NO. 11 PAGE. 897-904 1991

水素チャージしたTi3Alにおける新しい水素化物相

A novel hydride phase in hydrogen charged Ti3Al.

SCHWARTZ D S, LEDERICH R J, SASTRY S M L (McDonnell Douglas); YELON W B, BERLINER R R (Univ. Missouri-Columbia)

Acta Metall Mater VOL. 39, NO. 11 PAGE. 2799-2803 1991

TiAl 基金属間化合物の高温変形挙動の組織依存性

前田尚志, 岡田稔 (住友金属工業 未来技研)

日本金属学会講演概要 VOL. 109th PAGE. 171 1991

材料の高温における変形と破壊 Ti3Al 基金属間化合物のクリープ変形挙動と下部組織変化

大塚誠 (東北大 大学院); 及川洪 (東北大 工)

日本金属学会講演概要 VOL. 109th PAGE. 119 1991

高融点金属元素 (Hf, Ta, W, Re) 含有TiAl 基合金の組織形態

信木稔, 辻本得蔵 (金材技研)

材料とプロセス VOL. 4, NO. 5 PAGE. 1705 1991

TiAl-X (X=Nb, W) の酸化特性と低酸素分圧下熱処理の効果

今村尚近 (横浜国大 大学院); 吉原美知子, 三浦憲司, 田中良平 (横浜国大 工)

材料とプロセス VOL. 4, NO. 5 PAGE. 1704 1991

α 2チタンアルミナイド合金の水素許容性マイクロ組織開発

Developing Hydrogen-Tolerant Microstructures for an α 2 Titanium Aluminide Alloy.

CHAN K S (Southwest Research Inst.)

Metall Trans A VOL. 23, NO. 2 PAGE. 497-507 1992

γ -チタンアルミナイドの酸化物の性質 表面科学的研究

Oxide properties of a gamma titanium aluminide: A surface science study.

TAYLOR T N, PAFFETT M T (Los Alamos National Lab.)

US DOE Rep LA-UR-91-2679 PAGE. 19p 1991

Ti-31~39mass%Al合金の低酸素分圧雰囲気下の熱処理による耐酸化性の改善

Improvement in Oxidation Resistance of the Ti-31 ~ 39 mass%Al Alloys by Heat Treatment under a Low Partial Pressure Oxygen Atmosphere.

SUZUKI T, GOTO M, YOSHIHARA M, TANAKA R (Yokohama National Univ.)

Mater Trans JIM VOL. 32, NO. 11 PAGE. 1017-1023 1991

TiAl金属間化合物の常温圧縮試験における変化と破壊

野中勝彦, 田野崎和夫, 藤田正義, 千葉晶彦 (岩手大 工); 川畑武 (住友軽金属工業 技研); 和泉修 (東北大)

日本金属学会誌 VOL. 55, NO. 10 PAGE. 1045-1053 1991

チタン基金属間化合物Ti₃Alの破壊特性

新家光雄, 小林俊郎 (豊橋技科大); 流郷和範 (豊橋技科大 大学院); WILLIAMS J C (G. E.); GARRISON W M JR, THOMPSON A W (Carnegie Mellon Univ.)

日本金属学会誌 VOL. 55, NO. 9 PAGE. 1023-1030 1991

Ti₃Al+TiAl鑄造合金における界面境界に関するTEM観察

TEM investigation on the interfacial boundaries in as-cast Ti₃Al+TiAl alloy.

ZHAO L, TANGRI K (Univ. Manitoba)

Acta Metall Mater VOL. 39, NO. 10 PAGE. 2209-2224 1991

チタンアルミニウム合金のクリープと高温変形 α 2相の分布とB2相の分解の影響

Creep and high temperature deformation of titanium aluminide alloys: influence of α 2 phase distribution and B2 phase decomposition.

MORRIS M A (Univ. Neuchatel)

Mater Sci Eng A VOL. 148, NO. 1 PAGE. 33-43 1991

高温における金属間化合物TiAl及びTiAlCrの破壊靱性

Fracture Toughness of Intermetallic Compounds TiAl and Ti (Al, Cr) at Elevated Temperatures.

GNANAMOORTHY R, MUTOH Y (Nagaoka Univ.)

日本機械学会材料力学講演会講演論文集 VOL. 1991-B PAGE. 330-332 1991

Ti₃Al-Nb合金中の規則化変態

On the ordering transformations in Ti₃Al-Nb alloy.

LI D, ZHOU J, CHANG X, GUAN S (Inst. Metal Research, Academia Sinica)

Jinshu Xuebao VOL. 26, NO. 6 PAGE. A443-A448 1990

TiAl金属間化合物の低サイクル疲労強度特性

Low-cycle Fatigue Properties of TiAl Intermetallic Compounds.

山口弘二, 下平益夫, 西島敏 (金材技研)

鉄と鋼 VOL. 78, NO. 1 PAGE. 134-140 1992

延性アルミニウムと脆性三アルミ化物

Ductile aluminium and brittle trialuminides.

COTTRELL A H (Univ. Cambridge)

Mater Sci Technol VOL. 7, NO. 11 PAGE. 981-983 1991

TiAl 金属間化合物の熱物性

Thermophysical properties of TiAl intermetallic compound.

菅原章, 高橋一郎 (山形大 工); 田中康司 (日新製鋼)

Thermophys Prop VOL. 12th PAGE. 263 - 266 1991

二相チタン・アルミニウム化合物の微細構造の特徴

Microstructural characteristics of two-phase titanium aluminides.

FENG C R, MICHEL D J, CROWE C R (Naval Research Lab., Washington)

Mater Sci Eng A VOL. 145, NO. 2 PAGE. 257 - 264 1991

チタン - アルミナイドの引張性質に及ぼす塩素含有量の影響

Effect of Chlorine Content on Tensile Properties of Titanium Aluminide.

OGISHI H, MAKIMURA M, ONO H, MINAKATA S (Kawasaki Heavy Industries)

ISI J Int VOL. 31, NO. 10 PAGE. 1168 - 1171 1991

TiAl 金属間化合物の繰返し酸化特性

清水哲也, 飯久保知人, 磯部晋 (大同特殊鋼)

電気製鋼 VOL. 62, NO. 4 PAGE. 252 - 260 1991

TiAl 合金の機械的性質に及ぼす炭素及び窒素の影響

Effect of Carbon and Nitrogen on Mechanical Properties of TiAl Alloys.

KAWABATA T, TADANO M, IZUMI O (Tohoku Univ.)

ISI J Int VOL. 31, NO. 10 PAGE. 1161 - 1167 1991

マンガン含有 TiAl 基合金の高温における変形挙動

Deformation Behaviour of TiAl Base Alloy Containing Manganese at Elevated Temperatures.

HASHIMOTO K, NOBUKI M, TSUJIMOTO T (National Research Inst. Metals); SUZUKI T (Tokyo Inst. Technology)

ISI J Int VOL. 31, NO. 10 PAGE. 1154 - 1160 1991

$\alpha 2 + \beta$ チタニウムアルミナイド合金のクリープ

Creep of $\alpha 2 + \beta$ Titanium Aluminide Alloys.

THOMPSON A W, POLLOCK T M (Carnegie Mellon Univ.)

ISI J Int VOL. 31, NO. 10 PAGE. 1139 - 1146 1991

Tiリッチな TiAl 組成の TiAl/Ti₃Al 層状組織からなる TiAl 相の変形と再結晶挙動

Deformation and Recrystallization Behaviour of the TiAl Phase Constituting the TiAl/Ti₃Al Lamellar Structure of Ti-rich TiAl Compounds.

YAMAGUCHI M (Kyoto Univ.)

ISI J Int VOL. 31, NO. 10 PAGE. 1127 - 1133 1991

Cr の添加により改良した TiAl 合金の微細組織と延性

Microstructure and Ductility of TiAl Alloys Modified by Cr Addition.

HUANG S C, HALL E L (General Electric); SHIH D S (General Electric Aircraft Engines)

ISI J Int VOL. 31, NO. 10 PAGE. 1100 - 1105 1991

チタンアルミナイドにおける水素誘起割れと組織の効果

Hydrogen induced cracking and microstructure effect in titanium aluminide.

CHU W-Y, THOMPSON A W (Carnegie Mellon Univ.)

High Perform Compos 1990's PAGE. 143-157 1991

TiAl+Mn合金の圧縮変形挙動

Compressive deformation behavior of TiAl+Al alloys.

KAD B, OLIVER B F (Univ. Tennessee)

Microstruct Sci VOL. 18 PAGE. 211-219 1990

TiAl+Mn合金での双晶に関連した破壊

Twinning related fractures in TiAl+Mn alloys.

KAD B, OLIVER B F (Univ. Tennessee); HAZZLEDINE P M (Univ. Oxford)

Microstruct Sci VOL. 18 PAGE. 201-209 1990

立方晶改変Al₃Ti金属間化合物の機械的性質に及ぼすTiの影響

The effect of titanium on the mechanical properties of the cubic modifications of Al₃Ti intermetallic compound.

WINNICKA M B, VARIN R A (Univ. Waterloo)

Scr Metall Mater VOL. 25, NO. 10 PAGE. 2297-2302 1991

チタン-アルミニウム金属間化合物に対する水素の影響

Effect of Hydrogen on Behavior of the Intermetallic Titanium-Aluminides.

ELIEZER D, FORES F H (Univ. Idaho); MANOR E (Univ. California)

SAMPE Q VOL. 22, NO. 4 PAGE. 29-35 1991

TiAlの破壊によぼす微細構造と水素化物の影響

Effect of microstructure and hydrides on fracture of TiAl.

CHU W Y, THOMPSON A W (Carnegie Mellon Univ.)

Scr Metall Mater VOL. 25, NO. 9 PAGE. 2133-2138 1991

サブミクロン粒径のTiAl金属間化合物の高温における機械的挙動

Mechanical behaviour of TiAl submicrocrystalline intermetallic compound at elevated temperatures.

IMAYEV R M, IMAYEV V M (Inst. Metals Superplasticity Problems)

Scr Metall Mater VOL. 25, NO. 9 PAGE. 2041-2046 1991

Ti-34AlとTi-36Alの疲労特性とフラクトグラフィ

下平益夫, 山口弘二 (金材技研)

日本材料学会学術講演会前刷 VOL. 40th PAGE. 119-121 1991

TiAl相中の第三元素の置換位置の予測

Prediction Method for the Site Occupation of Third Element in TiAl Phase.

HASHIMOTO K, DOI H, TSUJIMOTO T (National Research Inst); SUZUKI T (Tokyo Inst. Technology)

Mater Trans JIM VOL. 32, NO. 7 PAGE. 574-579 1991

Ti/Al金属間化合物材料の硫酸中での陽極反応

沼田英夫, 富塚功 (金材技研)

腐食防食討論会講演集 VOL. 38th PAGE. 295-298 1991

4種のTi/Al系金属間化合物材料の乾式酸化

富塚功, 中沢静夫, 宮崎昭光, 小泉裕 (金材技研)

腐食防食討論会講演集VOL. 38th PAGE. 331 - 334 1991

γ -基Ti-Al金属間化合物の機械的性質と破壊に与える微小組織の効果

Effects of microstructure on the mechanical properties and fracture of γ -base titanium aluminides.

MITAO S, TSUYAMA S, MINAKAWA K (NKK)

Mater Sci Eng A VOL. 143, NO. 1/2 PAGE. 51 - 62 1991

Ti3Al基合金の相変態と変形機構

Phase transformation and deformation mechanism of Ti3Al-base alloy.

WANG S C, LI C Z, GAO Y, CAO C X, YAN M G (Inst. Aeronautical Materials, Beijing)

Chin J Met Sci Technol VOL. 7, NO. 1 PAGE. 9 - 14 1991

第3元素を添加したTiAlの大気酸化挙動

穴田博之, 志田善明 (住友金属工業 未来技研)

腐食防食シンポジウム資料 VOL. 86th PAGE. 25 - 34 1991

TiAl系金属間化合物の高温酸化挙動

外川靖人, 梅原博行 (製品科研)

腐食防食シンポジウム資料VOL. 86th PAGE. 1 - 9 1991

TiAl金属間化合物の耐酸化性向上に関する基礎試験

古河洋文 (三菱重工業 高砂研)

腐食防食シンポジウム資料 VOL. 86th PAGE. 54 - 59 1991

TiAl金属間化合物の高温酸化挙動と耐酸化性アルミナイジング処理

武井厚, 石田章 (金材技研)

腐食防食シンポジウム資料 VOL. 86th PAGE. 44 - 53 1991

TiAl合金の酸化特性および低酸素分圧下熱処理の効果

吉原美知子, 田中良平 (横浜国大 工)

腐食防食シンポジウム資料 VOL. 86th PAGE. 35 - 43 1991

Vb, VIb族元素の微量添加によるTiAl基合金の耐酸化性の改善

池松陽一, 花村年裕, 森川博文 (新日本製鉄)

腐食防食シンポジウム資料 VOL. 86th PAGE. 18 - 24 1991

TiAl基合金の高温酸化に及ぼす表面状態及び第三元素添加の影響

笠原和男, 竹山雅夫, 辻本得蔵 (金材技研)

腐食防食シンポジウム資料 VOL. 86th PAGE. 10 - 17 1991

金属間化合物の組織制御

高杉隆幸 (東北大 金材研)

金属VOL. 61, NO. 10 PAGE. 32 - 38 1991

2元系Ti-Al金属間化合物の高温大気中酸化スケールの構造

志田善明, 穴田博之 (住友金属工業 未来技術研究所)

日本金属学会誌 VOL. 55, NO. 6 PAGE. 690 - 695 1991

Ti-Al二元系金属間化合物の高温変形性に及ぼす合金組成の影響

Influence of Alloy Composition on Hot Deformation Properties of Ti-Al Binary Intermetallics.

NOBUKI M, TSUJIMOTO T (National Research Inst. Metals)

ISI J Int VOL. 31, NO. 8 PAGE. 931 - 937 1991

チタン・アルミニウム化合物粉末焼結体の加工熱処理法による微細組織制御

Microstructure Control of Titanium Aluminide Powder Compacts by Thermochemical Processing.

APGAR L S, EYLLON D (Univ. Dayton)

ISI J Int VOL. 31, NO. 8 PAGE. 915 - 921 1991

TiAl系金属間化合物の高温材料特性

堀端真彦 (機械技研)

機械研ニュース NO. 7 PAGE. 4 - 5 1991

Ti-Al金属間化合物基 $\gamma + \beta$ 微細複合組織合金の高温変形挙動

High Temperature Deformation Behavior of Titanium-Aluminide Based Gamma Plus Beta Microduplex Alloy.

MASAHASHI N, MIZUHARA Y, MATSUO M, HANAMURA T, KIMURA M, HASHIMOTO K (Nippon Steel Corp.)

ISI J Int VOL. 31, NO. 7 PAGE. 728 - 737 1991

微細結晶粒の金属間化合物TiAlの機械的性質 II 脆性-延性遷移

Механические свойства мелкозернистого интерметаллида TiAl. II. Хрупко-вязкий переход.

ИМАЕВ Р М, КАЙБЫШЕВ О А, САЛИЩЕВ Г А

Fiz Met Metalloved NO. 3 PAGE. 179 - 187 1991

チタンアルミナイドの種々の温度での降伏と加工硬化現象

Yielding and work hardening behaviour of titanium aluminides at different temperatures.

RAO P P, TANGRI K (Univ. Manitoba)

Mater Sci Eng A VOL. 132 PAGE. 49 - 59 1991

TiAl基合金の降伏応力の温度依存性

On the temperature dependence of yield stress in TiAl base alloys.

HUANG S C, HALL E L (GE Corporate Research and Development)

Scr Metall Mater VOL. 25, NO. 8 PAGE. 1805 - 1809 1991

チタンアルミニウム化合物における双晶靱性化

Twin toughening in titanium aluminide.

DEVE H E, EVANS A G (Univ. California)

Acta Metall Mater VOL. 39, NO. 6 PAGE. 1171 - 1176 1991

TiAl基合金へのバナジウム添加効果の解析

Characterization of the effect of vanadium additions to TiAl base alloys.

HUANG S-C, HALL E L (General Electric Research and Development Center)

Acta Metall Mater VOL. 39, NO. 6 PAGE. 1053 - 1060 1991

Mn添加TiAl金属間化合物のミクロ構造についてのAPFIMとHREMによる研究

A combined AP-FIM/HREM approach to the characterization of microstructure in a Mn-added TiAl intermetallic compound.

SAGA M, UEMORI R, TANINO M, MORIKAWA H (Nippon Steel)

Surf Sci VOL. 246, NO. 1/3 PAGE. 231 - 237 1991

Ti-24Al-11Nb合金の破壊特性

新家光雄, 小林俊郎 (豊橋技科大 工); 流郷和範 (豊橋技科大 大学院)

材料とプロセス VOL. 4, NO. 2 PAGE. 736 1991

ガンマチタンアルミナイドにおける連続冷却中のアルファ相の分解と等温変態

The decomposition of alpha phase during continuous cooling and isothermal transformation in gamma titanium aluminide.

MCQUAY P A, DIMIDUK D M (WL/MLLM); SEMIATIN S L (Battelle)
Scr Metall Mater VOL. 25, NO. 7 PAGE. 1689 - 1694 1991

ニオブとけい素を含有するTi3Al基合金の微細構造

Microstructure of Ti3Al based alloys containing niobium and silicon.

CHEN D, ES-SOUNI M, BEAVEN P A, WAGNER R (GKSS)
Scr Metall Mater VOL. 25, NO. 6 PAGE. 1363 - 1368 1991

金属間化合物TiAlの破壊靱性

平野一美 (機械技研)

日本機械学会通常総会講演会講演論文集 VOL. 68th, NO. Pt A PAGE. 213 - 215 1991

チタン基金属間化合物Ti3Alの破壊靱性と破壊機構

新家光雄, 小林俊郎 (豊橋技科大); 流郷和範 (豊橋技科大 大学院); 宮波 (中国 東北工学院)

軽金属学会大会講演概要 VOL. 80th PAGE. 257 - 258 1991

6.2.4. 複合材・複合化

ロストワックス法と機械加工によるXDTMガンマチタンアルミニウム化物翼の製造

Manufacture of XDTM gamma titanium aluminide airfoils
via investment casting and machining.

COLVIN G, CIANCI M, KLEYN B, VANDERLEEST L (Howmet)

Microstruct Prop Relatsh Titan Alum Alloys PAGE. 361-369 1991

MA-PS (プラズマ加圧焼結) 法による傾斜機能材料の創製

木村博, 小林信一 (防衛大)

粉体および粉末冶金 VOL. 39, NO. 4 PAGE. 287-290 1992

Ti-及びTi₃Al-基複合材料の変形と破壊

Deformation and Fracture of Ti- and Ti₃Al-Matrix
Composites.

YANG J-M, JENG S M (Univ. California)

JOM VOL. 44, NO. 6 PAGE. 52-57 1992

航空宇宙推進及び動力発生システム用の金属及び金属間化合物基複合材料

Metal- and Intermetallic-Matrix Composites for
Aerospace Propulsion and Power Systems.

DOYCHAK J (NASA Lewis Research)

JOM VOL. 44, NO. 6 PAGE. 46-51 1992

セラミック繊維で強化したチタンアルミニウム化合物 (TiAl₃) の製造プロセス

A Process for the Fabrication of Ceramic Fiber
Reinforced Titanium Aluminide.

HORSFALL I, CUNDY S J (Cranfield Inst.)

Ceram Eng Sci Proc VOL. 13, NO. 9-10 PAGE. 605-613 1992

TiAl-Ti₂AlN複合材の製造プロセスとその圧縮特性

Processing of TiAl-Ti₂AlN composites and their
compressive properties.

MABUCHI H, TSUDA H, NAKAYAMA Y (阪府大); SUKEDAI E (岡山大)

J Mater Res VOL. 7, NO. 4 PAGE. 894-900 1992

金属繊維/マトリックス界面層を含むアルミニウム化チタン複合材料の研究

Studies of titanium aluminide composites containing
metallic fiber/matrix interface layers.

RHODES C G, BAMPTON C C (Rockwell); GRAVES J A (Howmet)

Intermet Matrix Compos PAGE. 349-354 1990

SCS-6/Ti₃Al複合材料の機械的挙動と破壊の機構

Mechanical behavior and failure mechanisms of
SCS-6/Ti₃Al composites.

JENG S M, YANG C J, YANG J-M (Univ. California);

ROSENTHAL D G, GOEBEL J (Materials Technology Lab.)

Intermet Matrix Compos PAGE. 277-284 1990

炭化物強化物質を含むTiAlの高温挙動

The high temperature behaviour of TiAl containing
carbide reinforcements.

ROESLER J, VALENCIA J J, LEVI C G, EVANS A G,

MEHRABIAN R (Univ. California)

Intermet Matrix Compos PAGE. 241-248 1990

セラミック強化材と金属基質との高温での相互作用

High Temperature Interactions of Metallic Matrices with Ceramic Reinforcements.

JOSHI A, CHOU T C, WADSWORTH J (Lockheed)

AD Rep AD-A-244026 PAGE. 205p1991

γ -TiAl合金中の炭化物析出

Carbide precipitation in γ -TiAl alloys.

CHEN S, BEAVEN P A, WAGNER R (GKSS)

Scr Metall Mater VOL. 26, NO. 8 PAGE. 1205-12101992

繊維強化チタンアルミニウム化合物複合材料の熱機械的疲れ

Thermo-Mechanical Fatigue of a Fiber Reinforced Titanium Aluminide Composite.

BATES M A (Air Force Inst. Technology)

AD Rep AD-A-241988 PAGE. 124p1991

繊維強化アルミニウム化チタン複合材料の界面の改良

Interface modification for fiber-reinforced titanium aluminide composites.

BOSS D E (Northwestern Univ., IL);

YANG J M (Univ. California)

Intermet Matrix Compos PAGE. 429-4361990

SCS-6/アルファ-2アルミニウム化チタン複合材料の熱処理と熱疲れ

Heat treatments and thermal fatigue of SCS-6/ α -2 titanium aluminide composites.

KIM Y-W (Metcut-Materials); KLEEK J J (WRDC)

Intermet Matrix Compos PAGE. 315-3211990

SCS-6/Ti3Al複合材料の疲れ寿命に対する切欠きの影響

The effect of notches on the fatigue life of SCS-6/Ti3Al composite.

BAIN K R, GAMBONE M L (Materials Behavior Research Corp.);

ZORDAN R D (Allison Gas Turbine Division)

Intermet Matrix Compos PAGE. 271-2761990

窒素を含むXDTMTiAlの定応力クリープ

Constant stress creep of XDTM TiAl containing nitrogen.

ROBERTSON E, MARTIN P L (Los Alamos National Lab.)

Intermet Matrix Compos PAGE. 233-2401990

XDTMアルミニウム化チタンのクリープ特性と微細構造

Creep behavior and microstructure of XDTM titanium aluminide.

FENG C R, SMITH H H, MICHEL D J, CROWE C R (Naval Research Lab.)

Intermet Matrix Compos PAGE. 219-2241990

方向性凝固による短繊維チタンアルミナイド複合材料の軸配向

Axial alignment of short-fiber titanium aluminide composites by directional solidification.

KAMPE S L, SWOPE G H, CHRISTODOULOU L (Martin Marietta)

Intermet Matrix Compos PAGE. 97-1031990

Si₃N₄およびSiCとTi₃Alの固体界面反応

Solid state interfacial reactions of Ti₃Al with Si₃N₄ and SiC.

CHOU T C, JOSHI A (Lockheed)

J Mater Res VOL. 7, NO. 5 PAGE. 1253 - 1265 1992

元素金属粉末冶金法によって作製したチタンアルミナイド合金Ti₅₂Al₄₈における空孔減少の有効方法

An effective method for reducing porosity in the titanium aluminide alloy Ti₅₂Al₄₈ prepared by elemental powder metallurgy.

WANG G-X, DAHMS M (GKSS)

Scr Metall Mater VOL. 26, NO. 9 PAGE. 1469 - 1474 1992

炭化物相を含むγ-TiAl複合材料の分析電子顕微鏡観察

Analytical microscopy of a γ-TiAl composite containing a carbide phase.

AYER R (STEM); RAY R (Marko Materials); SCANLON J C (Exxon)

Scr Metall Mater VOL. 26, NO. 9 PAGE. 1337 - 1342 1992

ガンマ-TiAlで被覆したSiC繊維の界面反応

Interfacial reaction of coated SiC fibers with gamma-TiAl.

GOO G K, MECARTNEY M L (Univ. California);

GRAVES J A (Rockwell)

Scr Metall Mater VOL. 26, NO. 7 PAGE. 1043 - 1048 1992

γ-チタンアルミナイド近傍のXDのインベストメント鋳造法

Investment-cast processing of XD near-γ titanium aluminides.

LARSEN D E (Howmet); CHRISTODOULOU L, KAMPE S L,

SADLER P (Martin Marietta)

Mater Sci Eng A VOL. 144, NO. 1/2 PAGE. 45 - 49 1991

チタンアルミナイドのためのその場成長強化材

In-situ-grown reinforcements for titanium aluminides.

VALENCIA J J, LOEFVANDER J P A, MCCULLOUGH C,

LEVI C G (Univ. California);

MEHRABIAN R (Carnegie-Mellon Univ.)

Mater Sci Eng A VOL. 144, NO. 1/2 PAGE. 25 - 36 1991

アルミナイドマトリックス複合材料の反応焼結および反応HIP

Reactive sintering and reactive hot isostatic compaction of aluminide matrix composites.

MISIOLEK W, GERMAN R M (Rensselaer Polytechnic)

Mater Sci Eng A VOL. 144, NO. 1/2 PAGE. 1 - 10 1991

Ti₃Al+Nb複合材における反応速度と界面相生成

Investigation of Reaction Kinetics and Interfacial Phase Formation in Ti₃Al+Nb Composites.

WAWNER F E, GUNDEL D B (Univ. Virginia)

SAMPE Q VOL. 23, NO. 3 PAGE. 13 - 19 1992

水素ガス環境で使用するアルミ化チタン及び炭素・炭素複合材料の評価

Evaluation of titanium aluminide and carbon carbon composite materials for hydrogen gas service.

KANE R D, CHAKACHERY E A (Cortest)

Environ Eff Adv Mater PAGE. 35 - 46 1991

金属間化合物及びその複合材料の水素脆化

Hydrogen embrittlement of intermetallic compounds and their composites.

STOLOFF N S, SHEA M, CASTAGNA A (Rensselaer Polytechnic)
Environ Eff Adv Mater PAGE. 3-19 1991

圧力鋳造による連続セラミック繊維強化金属間化合物複合材の作製

Processing of continuous-ceramic-fiber-reinforced intermetallic composites by pressure casting.

NOURBAKHS S, MARGOLIN H (Polytechnic Univ.)
Mater Sci Eng A VOL. 144, NO. 1/2 PAGE. 133-141 1991

3種類のTiAl基粒子複合材料の1000-1100Kでの変形挙動

1000 to 1100K deformation behavior of three TiAl-based particulate composites.

WHITTENBERGER J D (NASA Lewis); RAY R (Marko Material b.)
Mater Lett VOL. 12, NO. 6 PAGE. 453-458 1992

TiNb/ γ -TiAl金属間化合物マトリックス複合材料の破壊靱性と疲れ亀裂伝播における延性相強化材の対照的な役割

Contrasting role of ductile-phase reinforcements in the fracture toughness and fatigue-crack propagation behaviour of TiNb/ γ -TiAl intermetallic matrix composites.

VENKATESWARA RAO K T, RITCHIE R O (Univ. California);
ODETTE G R (Univ. California at Santa Barbara)
Acta Metall Mater VOL. 40, NO. 2 PAGE. 353-361 1992

TiAl₃+ZrO₂粒子複合材の構造解析

Structural analysis of a TiAl₃ + ZrO₂ particulate composite.

METIN E S, INAL O T (New Mexico Inst.)
Mater Sci Eng A VOL. 148, NO. 1 PAGE. 115-122 1991

MAおよびHIP法によるTiAl-TiB₂複合材料製造における処理温度の影響

佐藤忠夫, 嶋影和宜, 金沢肇 (室蘭工大)

資源と素材 VOL. 107, NO. 11 PAGE. 833-835 1991

燃焼反応法によるTi₂AlC/TiAl複合材の製造

Fabrication of Ti₂AlC/TiAl Composites Using Combustion Reaction Process.

MABUCHI H, HARADA K, TSUDA H, NAKAYAMA Y (阪府大)
ISIJ Int VOL. 31, NO. 10 PAGE. 1272-1278 1991

不連続な基地の強化した金属間化合物複合材

Discontinuously Reinforced Intermetallic Matrix Composites.

KUMAR K S (Martin Marietta)
ISIJ Int VOL. 31, NO. 10 PAGE. 1249-1259 1991

Ti-Al系金属間化合物をマトリックスとしたSiC (CVD) 繊維強化複合材料の作製

坂井重郎, KIM J H, 高橋邦夫, 鈴村暁男, 恩沢忠男 (東工大)

溶接学会全国大会講演概要 NO. 49 PAGE. 404-405 1991

1990年代および以降の金属基複合材 市場総括

Metal matrix composites in the 1990s & beyond.
A market overview.
BRYANT R W(Business Communications Co.)
High Perform Compos 1990's PAGE. 487-500 1991

金属基複合材料のためのチタンアルミナイド箔

Titanium aluminide foils for metal matrix composites.
JHA S C, FORSTER J A, PANDEY A K,
DELAGI R G(Texas Instruments)
High Perform Compos 1990's PAGE. 159-169 1991

ADINAにおける統一状態変数モデルを用いたチタンアルミナイド／炭化けい素複合材料の熱機械的応答の研究

Investigation of the thermomechanical response of a
titanium aluminide/silicon carbide composite using a
unified state variable model in ADINA.
SHERWOOD J A, BOYLE M J(Univ. New Hampshire)
Comput Struct VOL. 40, NO. 2 PAGE. 257-269 1991

($\text{MoSi}_2\text{-SiC}$) / TiAl 傾斜機能材料の残留応力解析

松崎祐司, 藤岡順三, 南方俊一(川重工); 宮本欽生(阪大)
日本セラミックス協会年会講演予稿集 VOL. 1991 PAGE. 328 1991

6.2.5. 基礎

第二隣接原子相互作用を有する三元系BCC規則合金における基底状態の構造

Ground state structures in ordered b. c. c. ternary alloys with second-neighbor interactions.

TRAIBER A J S, ALLEN S M (Massachusetts Inst. Technology)
Acta Metall Mater VOL. 40, NO. 6 PAGE. 1403-1408 1992

変形した γ/α 2チタンアルミニウム化物における転位構造

Dislocation structures in deformed γ/α titanium aluminides.

DONLON W T, DOWLING W E JR, ALLISON J E (Ford Motor)
Microstruct Prop Relatsh Titan Alum Alloys PAGE. 75-88
1991

γ 基チタンアルミニウム化物における変形と界面の関係

Relationships between deformation and interfaces in γ -based titanium aluminides.

SCHWARTZ D S, SOBOYEJO W O (McDonnell Douglas)
Microstruct Prop Relatsh Titan Alum Alloys PAGE. 65-74
1991

Ti-Al合金の相平衡

Phase equilibria in Ti-Al alloys.

MISHURDA J C, PEREPEZKO J H (Univ. Wisconsin-Madison)
Microstruct Prop Relatsh Titan Alum Alloys PAGE. 3-30
1991

γ チタンアルミナイドの変態靱性化に対するTi-Al-V β 相の設計

Design of Ti-Al-V β phase for transformation toughening of γ -titanium aluminide.

GRUJICIC M (Clemson Univ.)
Mater Sci Eng A VOL. 154, NO. 1 PAGE. 75-78 1992

単結晶L10Ti-Al-V化合物における超転位の解離

Dissociation of superdislocations in single crystal L10Ti-Al-V compounds.

LI Z X, WHANG S H (Polytechnic Univ.)
Mater Sci Eng A VOL. 152, NO. 1/2 PAGE. 182-188 1992

陽電子消滅によるTiAlの原子空孔と転位

Studies of vacancies and dislocations in TiAl by positron annihilation.

SHIRAI Y, YAMAGUCHI M (Kyoto Univ.)
Mater Sci Eng A VOL. 152, NO. 1/2 PAGE. 173-181 1992

Ti-53.4mol%Al合金のクリープ中におけるしきい応力の存在

The existence of a threshold stress during creep of a Ti-53.4mol.% Al alloy.

WOLFENSTINE J (Univ. California,)
Mater Lett VOL. 12, NO. 3 PAGE. 203-206 1991

TiAlおよびNi₃Al金属間化合物の塑性変形解析の新しい概念

New concepts of analyzing plastic deformation of TiAl and Ni₃Al intermetallic compounds.

GREENBERG B A (Inst. Metal Physics)
Mater Sci Eng A VOL. 153, NO. 1/2 PAGE. 356-363 1992

構造用金属間化合物の設計における準安定相

Metastable phases in the design of structural intermetallics.

NASH P, KIM H, CHOO H, ARDY H, HWANG S J (Illinois Inst. Technology); NASH A S (Marquette Univ.)

Mater Sci Forum VOL. 88/90 PAGE. 603 - 610 1992

計算機支援による合金設計

Computer aided alloy design.

SAUNDERS N, MIODOWNIK A P (Univ. Surrey)

Low Density High Temp Powder Metall Alloy PAGE. 3 - 18 1991

Ti-51at. %Al合金のX線回折による原子間結合特性

An Investigation of the Interatomic Bonding Characteristics of a Ti-51at. % Al Alloy by X-Ray diffraction.

CADE S C (Naval Postgraduate School)

AD Rep AD-A-245362 PAGE. 71p 1991

金属間化合物TiAlに添加した第3元素の置換挙動

土肥春夫, 橋本健紀, 笠原和男, 辻本得蔵 (金材技研)

日本金属学会誌 VOL. 56, NO. 3 PAGE. 232 - 237 1992

TiAlにおける転位変態と変形特性の異常性 IV ブロック化転位の観察

Dislocation transformation and the anomalies of deformation characteristics in TiAl-IV. Observation of blocked dislocations.

GREENBERG B A, ANTONOVA O V, KARKINA L E, NOTKIN A B, PONOMAREV M V (Inst. Metal Physics SUN)

Acta Metall Mater VOL. 40, NO. 4 PAGE. 823 - 830 1992

TiAlにおける転位変態と変形特性の異常性 II 転位組織の温度変化

Dislocation transformation and the anomalies of deformation characteristics in TiAl-III. Temperature evolution of dislocation structure.

GREENBERG B A, ANTONOVA O V, KARKINA L E, NOTKIN A B, PONOMAREV M V (Inst. Metal Physics, SUN)

Acta Metall Mater VOL. 40, NO. 4 PAGE. 815 - 822 1992

γ -チタンアルミ化物における, 通常転位との相互作用による超転位の分解

Decomposition of superdislocations via interaction with ordinary dislocations in γ -titanium aluminides.

LI Z X, KIM J Y, WHANG S H (Polytechnic Univ.)

Scr Metall Mater VOL. 25, NO. 11 PAGE. 2595 - 2600 1991

TiAl単結晶の機械的性質

川畑武 (東北大)

日本金属学会会報 VOL. 30, NO. 11 PAGE. 897 - 904 1991

水素チャージしたTi3Alにおける新しい水素化物相

A novel hydride phase in hydrogen charged Ti3Al.

SCHWARTZ D S, LEDERICH R J, SASTRY S M L (McDonnell Douglas); YELON W B, BERLINER R R (Univ. Missouri-Columbia)

Acta Metall Mater VOL. 39, NO. 11 PAGE. 2799 - 2803 1991

Ti₃Al+TiAl 鑄造合金における界面境界に関するTEM観察

TEM investigation on the interfacial boundaries in as-cast Ti₃Al+TiAl alloy.

ZHAO L, TANGRI K (Univ. Manitoba)

Acta Metall Mater VOL. 39, NO. 10 PAGE. 2209-2224 1991

TiAl 金属間化合物の熱物性

Thermophysical properties of TiAl intermetallic compound.

菅原章, 高橋一郎 (山形大 工); 田中康司 (日新製鋼)

Thermophys Prop VOL. 12th PAGE. 263-266 1991

APFIMによるTiAlの逆位相境界及び超転位分解の研究

Investigation on APBs and dissociation of super dislocations in TiAl by APFIM.

LIU Z G, FROMMEYER G, KREUSS M (Max-Planck-Inst. Eisenforschung)

Philos Mag Letters VOL. 64, NO. 3 PAGE. 117-124 1991

Al₃Tiへの立方晶相を生成するための合金添加

Alloying of Al₃Ti to Form Cubic Phases.

MIKKOLA D E, NIC J P, ZHANG S, MILLIGAN W W (Michigan Technological Univ.)

ISI J Int VOL. 31, NO. 10 PAGE. 1076-1079 1991

γ-TiAl中の第3元素置換のエネルギー的考察

Energetic considerations of ternary element substitution in γ-TiAl.

RAJU S, MOHANDAS E, RAGHUNATHAN V S (Indira Gandhi Centre for Atomic Research)

J Phys Chem Solids OL. 52, NO. 8 PAGE. 931-938 1991

高温TiAl基合金を金属組織学的に調製するための自動研磨処理

An automatic polishing procedure to metallographically prepare high temperature TiAl base alloys.

BARBUTO A T (General Electric Co.)

Microstruct Sci VOL. 18 PAGE. 125-131 1990

立方晶L1₂型 (Al, Cr)₃Ti合金の室温変形と転位

古田伊知朗, 美浦康宏 (九大)

軽金属学会大会講演概要 VOL. 81st PAGE. 153-154 1991

立方晶改変Al₃Ti金属間化合物の機械的性質に及ぼすTiの影響

The effect of titanium on the mechanical properties of the cubic modifications of Al₃Ti intermetallic compound.

WINNICKA M B, VARIN R A (Univ. Waterloo)

Scr Metall Mater VOL. 25, NO. 10 PAGE. 2297-2302 1991

Ti-Al-Nb系の体心立方晶/斜方晶の二相領域におけるコヒーレント析出

Coherent precipitates in the b. c. c. / orthorhombic two-phase field of the Ti-Al-Nb system.

BENDERSKY L A, BOETTINGER W J, ROYTBURD A (NIST)

Acta Metall Mater VOL. 39, NO. 8 PAGE. 1959-1969 1991

γ -TiAlにおけるNb, V, Mn, およびCrのサイト占有

Site occupation of Nb, V, Mn and Cr in γ -TiAl.

MOHANDAS E, BEAVEN P A (GKSS Research Centre)

Scr Metall Mater VOL. 25, NO. 9 PAGE. 2023-2027 1991

TiAlの降伏応力の正の温度依存性の理論

A theory of the positive temperature dependence of yield stress in TiAl.

KAWABATA T, KANAI T, IZUMI O (Tohoku Univ.)

Philos Mag A VOL. 63, NO. 6 PAGE. 1291-1298 1991

Al₃Ti金属間化合物の塑性変形

Plastic deformation of the intermetallic Al₃Ti.

MORRIS D G, LERF R (Univ. Neuchatel)

Philos Mag A VOL. 63, NO. 6 PAGE. 1195-1206 1991

Ti-24at. %Al-11at. %Nb合金の変形に伴うひずみ局在化, 滑り帯形成および双晶

Strain localization, slip-band formation and twinning associated with deformation of a Ti-24at. %Al-11at. %Nb alloy.

MORRIS M A, MORRIS D G (Univ. Neuchatel)

Philos Mag A VOL. 63, NO. 6 PAGE. 1175-1194 1991

TiAl金属間化合物の粒界構造と機械的性質

Grain boundary structure and mechanical properties of the TiAl intermetallic compound.

IMAYEV R M, SALISHCHEV G A (Inst. Metals Superplasticity Problems)

IJ Phys 3 VOL. 1, NO. 7 PAGE. 1281-1288 1991

TiAl相中の第三元素の置換位置の予測

Prediction Method for the Site Occupation of Third Element in TiAl Phase.

HASHIMOTO K, DOI H, TSUJIMOTO T (National Research Inst); S

UZUKI T (Tokyo Inst. Technology)

Mater Trans JIM VOL. 32, NO. 7 PAGE. 574-579 1991

金属および規則金属間化合物中の変形双晶 TiとTiAl系金属間化合物

Deformation twinning in metals and ordered intermetallics-Ti and Ti-aluminides.

YOO M H, FU C L, LEE J K (Oak Ridge National Lab.)

J Phys 3 VOL. 1, NO. 6 PAGE. 1065-1084 1991

Ti₃Al基合金の相変態と変形機構

Phase transformation and deformation mechanism of Ti₃Al-base alloy.

WANG S C, LI C Z, GAO Y, CAO C X, YAN M G (Inst. Aeronautical Materials, Beijing)

Chin J Met Sci Technol VOL. 7, NO. 1 PAGE. 9-14 1991

チタンアルミナイドの種々の温度での降伏と加工硬化現象

Yielding and work hardening behaviour of titanium aluminides at different temperatures.

RAO P P, TANGRI K (Univ. Manitoba)

Mater Sci Eng A VOL. 132 PAGE. 49-59 1991

TiAl 基合金の降伏応力の温度依存性

On the temperature dependence of yield stress in TiAl base alloys.

HUANG S C, HALL E L (GE Corporate Research and Development)

Scr Metall Mater VOL. 25, NO. 8 PAGE. 1805 - 1809 1991

D019 構造を有する Ti₃Al 単結晶の塑性変形

Plastic deformation of single crystals of Ti₃Al with D019 structure.

MINONISHI Y (Tohoku Univ.)

Philos Mag A VOL. 63, NO. 5 PAGE. 1085 - 1093 1991

TiAl 基合金へのバナジウム添加効果の解析

Characterization of the effect of vanadium additions to TiAl base alloys.

HUANG S - C, HALL E L (General Electric Research and Development Center)

Acta Metall Mater VOL. 39, NO. 6 PAGE. 1053 - 1060 1991

Mn 添加 TiAl 金属間化合物のミクロ構造についての APFIM と HREM による研究

A combined AP-FIM/HREM approach to the characterization of microstructure in a Mn-added TiAl intermetallic compound.

SAGA M, UEMORI R, TANINO M, MORIKAWA H (Nippon Steel Corp.)

Surf Sci VOL. 246, NO. 1/3 PAGE. 231 - 237 1991

ガンマチタンアルミナイドにおける連続冷却中のアルファ相の分解と等温変態

The decomposition of alpha phase during continuous cooling and isothermal transformation in gamma titanium aluminide.

MCQUAY P A, DIMIDUK D M (WL/MLLM); SEMIATIN S L (Battelle Memorial Inst.)

Scr Metall Mater VOL. 25, NO. 7 PAGE. 1689 - 1694 1991

ニオブとけい素を含有する Ti₃Al 基合金の微細構造

Microstructure of Ti₃Al based alloys containing niobium and silicon.

CHEN D, ES - SOUNI M, BEAVEN P A, WAGNER R (GKSS - Research Centre)

Scr Metall Mater VOL. 25, NO. 6 PAGE. 1363 - 1368 1991

Ti₃Al+TiAl 鑄造合金における界面境界に関するTEM観察
TEM investigation on the interfacial boundaries in as-cast Ti₃Al+TiAl alloy.
ZHAO L, TANGRI K (Univ. Manitoba)
Acta Metall Mater VOL. 39, NO. 10 PAGE. 2209-2224 1991

TiAl 金属間化合物の熱物性
Thermophysical properties of TiAl intermetallic compound.
菅原章, 高橋一郎 (山形大 工); 田中康司 (日新製鋼)
Thermophys Prop VOL. 12th PAGE. 263-266 1991

APFIMによるTiAlの逆位相境界及び超転位分解の研究
Investigation on APBs and dissociation of super dislocations in TiAl by APFIM.
LIU Z G, FROMMEYER G, KREUSS M (Max-Planck-Inst. Eisenforschung)
Philos Mag Letters VOL. 64, NO. 3 PAGE. 117-124 1991

Al₃Tiへの立方晶相を生成するための合金添加
Alloying of Al₃Ti to Form Cubic Phases.
MIKKOLA D E, NIC J P, ZHANG S, MILLIGAN W W (Michigan Technological Univ.)
ISI J Int VOL. 31, NO. 10 PAGE. 1076-1079 1991

γ-TiAl中の第3元素置換のエネルギー的考察
Energetic considerations of ternary element substitution in γ-TiAl.
RAJU S, MOHANDAS E, RAGHUNATHAN V S (Indira Gandhi Centre for Atomic Research)
J Phys Chem Solids OL. 52, NO. 8 PAGE. 931-938 1991

高温TiAl基合金を金属組織学的に調製するための自動研磨処理
An automatic polishing procedure to metallographically prepare high temperature TiAl base alloys.
BARBUTO A T (General Electric Co.)
Microstruct Sci VOL. 18 PAGE. 125-131 1990

立方晶L12型 (Al, Cr) 3Ti合金の室温変形と転位
古田伊知朗, 美浦康宏 (九大)
軽金属学会大会講演概要 VOL. 81st PAGE. 153-154 1991

立方晶改変Al₃Ti金属間化合物の機械的性質に及ぼすTiの影響
The effect of titanium on the mechanical properties of the cubic modifications of Al₃Ti intermetallic compound.
WINNICKA M B, VARIN R A (Univ. Waterloo)
Scr Metall Mater VOL. 25, NO. 10 PAGE. 2297-2302 1991

Ti-Al-Nb系の体心立方晶/斜方晶の二相領域におけるコヒーレント析出
Coherent precipitates in the b. c. c. / orthorhombic two-phase field of the Ti-Al-Nb system.
BENDERSKY L A, BOETTINGER W J, ROYTBURD A (NIST)
Acta Metall Mater VOL. 39, NO. 8 PAGE. 1959-1969 1991

γ -TiAlにおけるNb, V, Mn, およびCrのサイト占有

Site occupation of Nb, V, Mn and Cr in γ -TiAl.

MOHANDAS E, BEAVEN P A (GKSS Research Centre)

Scr Metall Mater VOL. 25, NO. 9 PAGE. 2023-2027 1991

TiAlの降伏応力の正の温度依存性の理論

A theory of the positive temperature dependence of yield stress in TiAl.

KAWABATA T, KANAI T, IZUMI O (Tohoku Univ.)

Philos Mag A VOL. 63, NO. 6 PAGE. 1291-1298 1991

Al₃Ti金属間化合物の塑性変形

Plastic deformation of the intermetallic Al₃Ti.

MORRIS D G, LERF R (Univ. Neuchatel)

Philos Mag A VOL. 63, NO. 6 PAGE. 1195-1206 1991

Ti-24at. %Al-11at. %Nb合金の変形に伴うひずみ局在化, 滑り帯形成および双晶

Strain localization, slip-band formation and twinning associated with deformation of a Ti-24at. %Al-11at. %Nb alloy.

MORRIS M A, MORRIS D G (Univ. Neuchatel)

Philos Mag A VOL. 63, NO. 6 PAGE. 1175-1194 1991

TiAl金属間化合物の粒界構造と機械的性質

Grain boundary structure and mechanical properties of the TiAl intermetallic compound.

IMAYEV R M, SALISHCHEV G A (Inst. Metals Superplasticity Problems)

JJ Phys 3 VOL. 1, NO. 7 PAGE. 1281-1288 1991

TiAl相中の第三元素の置換位置の予測

Prediction Method for the Site Occupation of Third Element in TiAl Phase.

HASHIMOTO K, DOI H, TSUJIMOTO T (National Research Inst); S

UZUKI T (Tokyo Inst. Technology)

Mater Trans JIM VOL. 32, NO. 7 PAGE. 574-579 1991

金属および規則金属間化合物中の変形双晶 TiとTiAl系金属間化合物

Deformation twinning in metals and ordered intermetallics-Ti and Ti-aluminides.

YOO M H, FU C L, LEE J K (Oak Ridge National Lab.)

J Phys 3 VOL. 1, NO. 6 PAGE. 1065-1084 1991

Ti₃Al基合金の相変態と変形機構

Phase transformation and deformation mechanism of Ti₃Al-base alloy.

WANG S C, LI C Z, GAO Y, CAO C X, YAN M G (Inst. Aeronautical Materials, Beijing)

Chin J Met Sci Technol VOL. 7, NO. 1 PAGE. 9-14 1991

チタンアルミナイドの種々の温度での降伏と加工硬化現象

Yielding and work hardening behaviour of titanium aluminides at different temperatures.

RAO P P, TANGRI K (Univ. Manitoba)

Mater Sci Eng A VOL. 132 PAGE. 49-59 1991

TiAl 基合金の降伏応力の温度依存性

On the temperature dependence of yield stress in TiAl base alloys.

HUANG S C, HALL E L (GE Corporate Research and Development)

Scr Metall Mater VOL. 25, NO. 8 PAGE. 1805-1809 1991

D019構造を有するTi3Al単結晶の塑性変形

Plastic deformation of single crystals of Ti3Al with D019 structure.

MINONISHI Y (Tohoku Univ.)

Philos Mag A VOL. 63, NO. 5 PAGE. 1085-1093 1991

TiAl 基合金へのバナジウム添加効果の解析

Characterization of the effect of vanadium additions to TiAl base alloys.

HUANG S-C, HALL E L (General Electric Research and Development Center)

Acta Metall Mater VOL. 39, NO. 6 PAGE. 1053-1060 1991

Mn添加TiAl金属間化合物のミクロ構造についてのAPFIMとHREMによる研究

A combined AP-FIM/HREM approach to the characterization of microstructure in a Mn-added TiAl intermetallic compound.

SAGA M, UEMORI R, TANINO M, MORIKAWA H (Nippon Steel Corp.)

Surf Sci VOL. 246, NO. 1/3 PAGE. 231-237 1991

ガンマチタンアルミナイドにおける連続冷却中のアルファ相の分解と等温変態

The decomposition of alpha phase during continuous cooling and isothermal transformation in gamma titanium aluminide.

MCQUAY P A, DIMIDUK D M (WL/MLLM); SEMIATIN S L (Battelle Memorial Inst.)

Scr Metall Mater VOL. 25, NO. 7 PAGE. 1689-1694 1991

ニオブとけい素を含有するTi3Al基合金の微細構造

Microstructure of Ti3Al based alloys containing niobium and silicon.

CHEN D, ES-SOUNI M, BEAVEN P A, WAGNER R (GKSS-Research Centre)

Scr Metall Mater VOL. 25, NO. 6 PAGE. 1363-1368 1991

6.2.6. 総論・解説記事

TiAl金属間化合物

(住友金属工業)

新金属工業 VOL. 37, NO. 夏季号 PAGE. 109 - 110 1992

構造用金属間化合物の側面 Ti-Al系を中心として

橋本健紀(金材技研)

FC Rep VOL. 10, NO. 7 PAGE. 222 - 229 1992

耐熱性アルミ化合物及び金属間化合物

High-Temperature Aluminides and Intermetallics.

PARAMESWARAN V R(National Research Council of Canada)

JOM VOL. 44, NO. 6 PAGE. 41 - 43 1992

航空宇宙機器における新素材

伊藤好二(超高温材料研究セ)

日本熱処理技術協会講演大会講演概要集 VOL. 34th PAGE. 91 - 94 1992

超耐高熱構造材料用高融点金属, 金属間化合物技術動向調査報告書 平成3年度 下巻

(日本機械工業連, 次世代金属・複合材料研究開発協) PAGE. 371p 1992

超耐高熱構造材料用高融点金属, 金属間化合物技術動向調査報告書 平成3年度 上巻

(日本機械工業連, 次世代金属・複合材料研究開発協 PAGE. 251p 1992

従来のチタンアルミニウム合金より優れたTi₂AlNb基の合金

Ti₂AlNb-based alloys outperform conventional titanium aluminides.

Adv Mater Processes VOL. 141, NO. 3 PAGE. 33 - 35 1992

航空宇宙システム用金属間化合物材料の開発

Development of intermetallic materials for aerospace systems.

DIMIDUK D M, MIRACLE D B, WARD C H(Wright Lab.)

Mater Sci Technol VOL. 8, NO. 4 PAGE. 367 - 375 1992

高温用金属間化合物 とくにTiAlに力点を置いて

High temperature intermetallics-with particular emphasis on TiAl.

YAMAGUCHI M(Kyoto Univ.)

Mater Sci Technol VOL. 8, NO. 4 PAGE. 299 - 307 1992

'92年の展望 金属の開発

FORECAST '92. Developments in Metals.

Adv Mater Processes VOL. 141, NO. 1 PAGE. 17 - 25 1992

金属間化合物複合材料の研究動向

坂本昭(次世代金属・複合材料研究開発協)

金属 VOL. 62, NO. 4 PAGE. 48 - 55 1992

構造用金属間化合物の研究動向

辻本得蔵(金材技研)

金属 VOL. 62, NO. 4 PAGE. 4 - 5 1992

TiAl₂基三元系 (Fe又はNi) チタンアルミナイドについて

Study on TiAl₂-based ternary (Fe or Ni) titanium aluminides.

DURLU N, INAL O T (New Mexico Inst. Mining Technology)
J Mater Sci VOL. 27, NO. 5 PAGE. 1175-1178 1992

Ti-Al系金属間化合物の製法の現状

渋谷和久 (住友軽金属工業 技研)

アルトピア VOL. 22, NO. 3 PAGE. 13-19 1992

チタンアルミナイド 明日のエンジンのための強靱な材料

Titanium Aluminides: Tough Materials for Tomorrow's Engines.

ASHLEY S

Mech Eng VOL. 113, NO. 12 PAGE. 49-52 1991

延性アルミニウムと脆性三アルミ化合物

Ductile aluminium and brittle trialuminides.

COTTRELL A H (Univ. Cambridge)

Mater Sci Technol VOL. 7, NO. 11 PAGE. 981-983 1991

TiAl基金属間化合物の相反応と製造法

Phase Reactions and Processing in the Ti-Al based Intermetallics.

PEREPEZKO J H (Univ. Wisconsin)

ISI J Int VOL. 31, NO. 10 PAGE. 1080-1087 1991

チタニウムアルミナイドの製造, 性質, 及び製品化

Production, Characteristics, and Commercialization of Titanium Aluminides.

FROES F H, SURYANARAYANA C (Univ. Idaho)

ISI J Int VOL. 31, NO. 10 PAGE. 1235-1248 1991

新しいエアロスペースシステム用金属間化合物の最近の進歩

Recent Progress on Intermetallic Alloys for Advanced Aerospace Systems.

DIMIDUK D M, MIRACLE D B (WL/MLLM); KIM Y-W (Metcut-Materials Research); MENDIRATTA M G (Universal Energy Systems)

ISI J Int VOL. 31, NO. 10 PAGE. 1223-1234 1991

飛行機体構造用として有望なガンマTi-Al化合物の生産技術開発

Development in Processing Technology of Gamma Titanium Aluminides for Potential Application to Airframe Structures.

MATSUO M (Nippon Steel Corp.)

ISI J Int VOL. 31, NO. 10 PAGE. 1212-1222 1991

金属間化合物と合金状態図

鈴木朝夫 (東京工大 工)

日本ステンレス技報 NO. 25 PAGE. 1-7 1990

航空宇宙用金属構造材料の研究に関する展望

Overview of research on aerospace metallic structural materials.

ROSENSTEIN A H (U. S. Air Force)

Mater Sci Eng A VOL. 143, NO. 1/2 PAGE. 31-41 1991

軽金属間化合物と耐火金属間化合物

鈴木朝夫(東京工大)

月刊新素材 VOL. 2, NO. 3 PAGE. 52 - 54 1991

ガンマアルミニウム化チタンの理解の進歩

Progress in the Understanding of Gamma Titanium aluminides.

KIM Y-W(Univ. Dayton); DIMIDUK D M(U. S. Air Force Wright Lab.)

JOM VOL. 43, NO. 8 PAGE. 40 - 47 1991

金属間化合物の研究開発現況

丸尾智彦(次世代金属・複合材料研究開発協)

機械振興 VOL. 24, NO. 6 PAGE. 55 - 59 1991

美しく変身できるかTiAl チタン・アルミナイド金属間化合物の実用化への課題

松尾宗次(日鉄技術情報セ)

バウンダリー VOL. 7, NO. 9 PAGE. 2 - 8 1991

軽量耐熱金属間化合物材料の開発に関する研究

辻本得蔵, 斎藤一男, 三井達郎, 古林英一, 山口弘二, 中沢静夫, 新居和嘉, 鈴木朝夫, 竹内伸(金材技研)

科学技術庁金属材料技術研究所研究報告集 VOL. 12 PAGE. 1 - 17 1991

6.3. 高融点金属間化合物(Nb-Al系)に関する文献

プロセッシング

NbAl₃の圧密特性に及ぼすボールミリングの影響

The effect of ball milling on consolidation properties of NbAl₃.

YOSHIKAWA H, SAITO Y (IHI)

Mater Sci Forum VOL. 88/90 PAGE. 655 - 662 1992

高エネルギーボールミルによる金属間化合物の原子不規則配列および相転移

Atomic disorder and phase transitions in intermetallic compounds by high-energy ball milling.

BAKKER H, DI L M (Univ. Amsterdam)

Mater Sci Forum VOL. 88/90 PAGE. 27 - 34 1992

粉末冶金で製造したNbAl₃マトリックス複合材料の酸化

Oxidation of power processed NbAl₃ matrix composites.

KORINKO P S, DUQUETTE D J (Rensselaer Polytechnic)

Intermet Matrix Compos PAGE. 423 - 428 1990

粒子強化型Nb - 26 at%Ti - 48 at%Al複合材料

Particle-reinforced Nb - 26 at%Ti - 48 at%Al composites.

AIKIN R M JR, MCCUBBIN P E,

CHRISTODOULOU L (Martin Marietta)

Intermet Matrix Compos PAGE. 307 - 313 1990

MA粉のEDCによるナノ結晶の成形

Nano-crystalline consolidation of MA powders by EDC.

KIM D K, OKAZAKI K (Univ. Kentucky)

Mater Sci Forum VOL. 88/90 PAGE. 553 - 560 1992

航空宇宙応用のためのMA合金

MA alloys for aerospace applications.

ELLIOTT I C, HACK G A J (Inco Alloys)

Struct Appl Mech Alloy PAGE. 15 - 24 1990

メカニカルアロイングにより作製したAl/Nb, Ti/Al粉末の形態変化と性質

Change in Morphology of Mechanically Alloyed Nb/Al and Ti/Al Powders and Their Material Properties.

PARK Y H, HASHIMOTO H, WATANABE R (Tohoku Univ.)

J Adv Sci VOL. 3, NO. 4 PAGE. 223 - 230 1991

メカニカルアロイングおよびボールミルにより作成したナノ結晶合金

Nanocrystalline alloys prepared by mechanical alloying and ball milling.

OEHRING M, BORMANN R (GKSS - Research Center)

Mater Sci Eng A VOL. 134 PAGE. 1330 - 1333 1991

機械的粉碎による金属間化合物における原子の不規則化

Atomic disorder in intermetallic compounds by mechanical attrition.

DI L M, LOEFF P I, BAKKER H (Natuurkundig Lab.)

Mater Sci Eng A VOL. 134 PAGE. 1323 - 1325 1991

燃焼合成によるニオブアルミナイドのその場延性高靱化

In Situ Ductile Toughening of Nb₂Al by Combustion Synthesis.

BHATTACHARYA A K (Univ. Cincinnati)

J Am Ceram Soc VOL. 75, NO. 6 PAGE. 1678 - 1681 1992

ニオブアルミニウム化合物 (NbAl₃) の反応処理

Reactive processing of niobium aluminide NbAl₃.

MURRAY J C, GERMAN R M (Rensselaer Polytechnic)

Adv Powder Metall VOL. 1990, NO. Vol 2 PAGE. 145 - 160 1990

高発熱反応により得られたセラミックマトリックスの複合材料

A Ceramic Matrix Composite Obtained by Highly Exothermic Reaction.

BOTTA W J F, PANDOLFELLI V C, RODRIGUES J A, TOMASI R (Univ. Federal de Sao Carlos); STEVENS R (Univ. Leeds);

DERBY B (Univ. Oxford); BROOK R J (Max Planck Inst.)

J Eur Ceram Soc VOL. 9, NO. 1 PAGE. 67 - 73 1992

NbAl₃基複合材料の反応性合成

Reactive Synthesis of NbAl₃ Matrix Composites.

LU L, KIM Y S, GOKHALE A B, ABBASCHIAN R (Univ. Florida)

Intermet Matrix Compos PAGE. 79 - 87 1990

反応合成NbAl₃-Nb複合材料におけるアルミナ界面コーティング層のその場形成

In situ formation of an alumina interface coating in reactively synthesized NbAl₃-Nb composites.

LU L, GOKHALE A B, ABBASCHIAN R (Univ. Florida)

Mater Sci Eng A VOL. 144, NO. 1/2 PAGE. 11 - 23 1991

アルミナイドマトリックス複合材料の反応焼結および反応HIP

Reactive sintering and reactive hot isostatic compaction of aluminide matrix composites.

MISIOLEK W, GERMAN R M (Rensselaer Polytechnic)

Mater Sci Eng A VOL. 144, NO. 1/2 PAGE. 1 - 10 1991

ニオブアルミナイドの燃焼合成とその機械的性質

Combustion synthesis of niobium aluminide and its mechanical properties.

BHATTACHARYA A K, HO C T, SEKHAR J A (Univ. Cincinnati)

J Mater Sci Lett VOL. 11, NO. 8 PAGE. 475 - 476 1992

新しい機能が期待される非平衡金属間化合物の合成

Synthesis of exotic compounds with exotic properties.

山口正治, 小岩昌宏, 新宮秀夫, 白井泰治, 西谷滋人, 乾晴行 (京大)

日産科学振興財団研究報告書 VOL. 14 (1991) PAGE. 35 - 39 1992

ジルコニア靱性化アルミナ繊維強化ニオブアルミニウム化合物複合材料のマイクロ組織的特性化

Microstructural characterization of a zirconia-toughened alumina fiber reinforced niobium aluminide composite.

NOURBAKHS S, SAHIN O, RHEE W H, MARGOLIN H (Polytechnic Univ.)

Acta Metall Mater VOL. 40, NO. 2 PAGE. 285 - 294 1992

一方向凝固により得られたNb₂Al-NbAl₃共晶合金の顕微鏡組織

Microstructure of Nb₂Al-NbAl₃ eutectic alloys
produced by unidirectional solidification.
KUMAGAI T, HANADA S (Tohoku Univ)
Mater Sci Eng A VOL. 152, NO. 1/2 PAGE. 349-355 1992

急冷凝固Nb₃Alの微細組織と機械的性質

Microstructures and mechanical properties of rapidly
solidified niobium aluminide (NbAl₃).
RAY R (Marko Materials Inc.); AYER R (STEM Inc.)
J Mater Sci VOL. 27, NO. 6 PAGE. 1642-1650 1992

金属間化合物Nb-Al合金の凝固製造法

Solidification processing of intermetallic Nb-Al
alloys.
SMITH P P, OLIVER B F (Univ. Tennessee);
NOEBE R D (NASA Lewis Research)
Scr Metall Mater VOL. 26, NO. 9 PAGE. 1365-1370 1992

金属粉末から造る面白い材料 急冷凝固粉末

甲元宏明 (三菱マテリアル)
JN L1184A (0917-0499) 月刊新素材
VN VOL. 3, NO. 2 PAGE. 35-40 1992
CI (A) (b2) (JA) (JPN) (写真8, 表1, 参21)

金属間化合物Nb₃Alのメルトスピンリボンにおける成長時導入転位の分解

Concerning the dissociation of grown-in dislocations
in melt spun ribbons of the intermetallic compound
Nb₃Al.
AINDOW M, SHYUE J, FRASER H L (Ohio State Univ.); GASPAR T
A (Ribbon Technology Corp.)
Philos Mag Letters VOL. 64, NO. 2 PAGE. 59-65 1991

先進メルトスピニング技術による分散強化ニオブアルミナイド合金

Dispersion strengthened niobium aluminide alloys via
advanced melt spinning technology.
RAY R (Marko Materials Inc.)
Met Powder Rep VOL. 46, NO. 10 PAGE. 24-28 1991

急速凝固及び圧密化したNbAl₃-1%TiB₂合金における新相

A New Phase in a Rapidly Solidified and Consolidated
NbAl₃-1 Pct TiB₂ Alloy.
AYER R (STEM, Inc., CT); RAY R (Marko Materials)
Metall Trans A VOL. 22, NO. 9 PAGE. 1901-1909 1991

性質

高温構造材への応用のためのAl₅構造をもつ耐火性金属間化合物の評価

Evaluation of refractory intermetallics with Al₅
structure for high temperature structural
applications.
SHAH D M (Pratt & Whitney); ANTON D L (United Technologies)
Mater Sci Eng A VOL. 153, NO. 1/2 PAGE. 402-409 1992

ニオブアルミニウム化物金属間化合物の高温強さ

High temperature strength of niobium aluminide intermetallics.

BARTH E P, TIEN J K (Univ. Texas); UEJO S, KAMBARA S (Nippon Mining)

Mater Sci Eng A VOL. 153, NO. 1/2 PAGE. 398 - 401 1992

Nb₃Alの高温変形

村山洋之介, 花田修治, 小原和夫 (東北大 金材研)

日本金属学会講演概要 VOL. 109th PAGE. 169 1991

靱性を有する高温用金属間化合物の機械的性質に及ぼす組成の影響

Effects of Composition on the Mechanical Properties of Tough, High-temperature Intermetallic Compounds. FLEISCHER R L (Alloy Properties Lab.)

ISI J Int VOL. 31, NO. 10 PAGE. 1186 - 1191 1991

Ni添加量の関数としてのAl₃Nbの相安定性

Phase stability of Al₃Nb as a function of nickel additions.

INOUE H R P, KITAMURA M, WAYMAN C M, CHEN H (Univ. Illinois)

Philos Mag Letters VOL. 63, NO. 6 PAGE. 345 - 353 1991

脆い金属間化合物の延性相による強靱化

Ductile phase toughening of brittle intermetallics.

ANTON D L (United Technologies); SHAH D M (Pratt & Whitney)

Intermet Matrix Compos PAGE. 45 - 52 1990

耐酸化性高温金属間化合物の開発

Development of oxidation resistant high temperature intermetallics.

GRABKE H J, BRUMM M, STEINHORST M (Max-Planck-Inst.)

Mater Sci Technol VOL. 8, NO. 4 PAGE. 339 - 344 1992

超伝導材料

ジェリ-ロール工程によるNb₃Al超伝導体の開発

Development of Nb₃Al Superconductor Using the Jelly Roll Process.

YAMADA Y, OHMATSU K, OKU G, NAGATA M, ANDO T, TAKAHASHI Y, NISHI M (Sumitomo Electric)

Sumitomo Electr Tech Rev NO. 33 PAGE. 83 - 90 1992

ジェリーロール法Nb₃Al超電導線の開発

Development of Nb₃Al Superconductor by Jelly-roll Process.

山田雄一, 大松一也, 奥剛司, 永田正之, 安藤俊就, 高橋良和, 西正孝 (住友電気工業)

住友電気 NO. 139 PAGE. 93 - 100 1991

分析電子顕微鏡法によるNb₃Al極細多芯超伝導線の微構造の評価

Microstructural characterization of Nb₃Al ultrafine multifilamentary superconducting wire by analytical electron microscopy.

WADAYAMA Y, SUZUKI T, AIHARA K, TADA N (Hitachi); KAMATA K, SAKAI S (Hitachi Cable); INOUE K (National Research Inst. Metals)

Appl Phys Lett VOL. 59, NO. 4 PAGE. 473 - 475 1991

Nb₃Al極細多芯線の開発

井上廉, 竹内孝夫, 飯嶋安男, 小菅通雄, 木吉司 (金材技研); 渡辺和雄 (東北大金材研)
東北大学金属材料研究所超電導材料開発施設年次報告 VOL. 1990 PAGE. 157 - 159 1991

ジェリーロール法Nb3Al超電導材料の開発
山田雄一, 大松一也, 永田正之, 横田稔 (住友電気工業)
東北大学金属材料研究所超電導材料開発施設年次報告 VOL. 1990 PAGE. 155 - 156 1991

Nbチューブ法により製作したNb3Al多芯超電導体
Nb tube processed Nb3Al multifilamentary
superconductors.
TAKEUCHI T, KOSUGE M, IIJIMA Y, HASEGAWA A, KIYOSHI T,
INOUE K (National Research Inst. Metals)
IEEE Trans Magn VOL. 27, NO. 2 Pt 3 PAGE. 2045 - 2048 1991

総論

超耐高熱構造材料用高融点金属, 金属間化合物技術動向調査報告書 平成3年度 下巻
(日本機械工業連, 次世代金属・複合材料研究開発協) PAGE. 371p 1992

高温用材料
Materials for elevated-temperature applications.
TIEN J K, VIGNOUL G E, KOPP M W (Univ. Texas)
Mater Sci Eng A VOL. 143, NO. 1/2 PAGE. 43 - 49 1991

航空宇宙用金属構造材料の研究に関する展望
Overview of research on aerospace metallic
structural materials.
ROSENSTEIN A H (U. S. Air Force Office of Scientific
Research)
Mater Sci Eng A VOL. 143, NO. 1/2 PAGE. 31 - 41 1991

軽金属間化合物と耐火金属間化合物
鈴木朝夫 (東京工大)
月刊新素材 VOL. 2, NO. 3 PAGE. 52 - 54 1991

金属系超電導材料の組織制御
永田明彦 (秋田大 鉱山)
金属 VOL. 61, NO. 10 PAGE. 39 - 45 1991

金属間化合物の組織制御
高杉隆幸 (東北大 金材研)
金属 VOL. 61, NO. 10 PAGE. 32 - 38 1991

金属間化合物の研究開発現況
丸尾智彦 (次世代金属・複合材料研究開発協)
機械振興 VOL. 24, NO. 6 PAGE. 55 - 59 1991

6.4. 超耐環境性先進材料(金属間化合物)関連特許

「超耐環境性先進材料(金属間化合物)」に関連する特許を、PATOLIS検索およびその他の二次資料により調査した。本報告書には、1990年(平成2年)および1991年(平成3年)に、外国特許については登録・公告されたもの、国内特許については公開されたものを収録した。

6.4.1. Ti-Al系金属間化合物—国内特許

No.	公開番号	公告日	出願人	題 名	備 考
1	P 平2-259043	90/10/19	Technology DEV Corp	アルミニウム、チタン型の低密度耐熱金属 間合金	
2	P 平2-504405	90/12/13	K. スティブン、 L. J. エドワーズ、他	チタン合金	
3	P 平3-44436	91/02/26	大同特殊鋼	Ti-Al 系ベアリング用材料及びベアリング	
4	P 平3-104832	91/05/01	General Electric	クロムとケイ素で改変された γ -チタン- アルミニウム合金およびその製造方法	
5	P 平3-104833	91/05/01	General Electric	クロムとタンタルで改変された γ -チタン- アルミニウム合金およびその製造方法	
6	P 平2-101133	90/04/12	大同特殊鋼	TiAl-Ti ₃ Al系複合材料	
7	P 平2-101134	90/04/12	大同特殊鋼	耐熱複合材料	
8	P 平3-115549	91/05/16	京都大学総長 (山口、他)	TiAlの圧延加工法	
9	P 平2-130201	90/05/18	三菱重工業	タービンホイール及びその製法	
10	P 平2-163333	90/06/22	新日本製鐵	TiAl金属間化合物とその製造法	
11	P 平2-228435	90/09/11	金材技研所長 (高橋、倉部)	Mn添加TiAl金属間化合物の溶解鑄造方法	
12	P 平2-25931	90/10/08	日本鋼管	破壊靱性に優れた金属間化合物TiAl基合金 溶製材	
13	P 平2-258938	90/10/19	住友金属工業	耐熱性材料	
14	P 平2-258939	90/10/19	和泉、川畑	耐熱性材料	
15	P 平2-274829	90/11/19	住友金属工業	金属間化合物Ti ₃ Al 基軽量耐熱合金	

16	P 平2-277736	90/11/14	三菱重工業	Ti-Al 基耐熱合金
17	P 平2-294458	90/12/05	横浜国大 (田中、他)	TiAlの金属間化合物または合金の表面に耐酸化性皮膜を形成させる方法
18	P 平3-44436	91/02/26	大同特殊鋼	Ti-Al 系ベアリング用材料及びベアリング
19	P 平3-44437	91/02/26	新日本製鐵	TiAlの金属間化合物薄板およびその製造法
20	P 平3-64423	91/03/19	日立金属	金属間化合物Ti-Al 基合金の溶解方法
21	P 平3-66526	91/03/22	新日本製鐵	TiAl金属間化合物とセラミックスからなる高温靱性をもった高温強度部材
22	P 平3-68724	91/03/25	住友金属工業	アルミナイド基複合材の製造方法
23	P 平3- 44437	91/02/26	新日本製鐵	TiAl金属間化合物薄板およびその製造方法
24	P 平3- 64423	91/03/19	日立金属	金属間化合物値Ti-Al 基合金の溶解方法
25	P 平3- 66526	91/03/22	新日本製鐵	TiAl金属間化合物とセラミックスからなる高温靱性をもった高温強度部材
26	P 平3- 68724	91/03/25	住友軽金属	アルミナイド基複合材の製造方法
27	P 平3-104832	91/05/01	ジェネラル エレクトリック Co	クロムとケイ素で改変された γ -チタン-アルミ合金およびその製造方法
28	P 平3-104833	91/05/01	ジェネラル エレクトリック Co	クロムとタンタルで改変された γ -チタン-アルミ合金およびその製造方法
29	P 平3-115549	91/05/16	京都大学総長 (山口、西谷、 中村)	TiAlの圧延加工法
30	P 平3-188230	91/08/16	日本発条	金属間化合物を主体とする弾性部材およびその製造方法
31	P 平3-193801	91/08/23	新日本製鐵	金属間化合物焼結添加用粉末および焼結法

32	P	平3-193837	91/08/23	本田技研工業	高温耐酸化性金属間化合物TiAl系合金
33	P	平3-193839	91/08/23	新日本製鐵	高純度TiAl基金属間化合物およびその製造方法
34	P	平3-193842	91/08/25	新日本製鐵	TiAl基複合材料およびその製造方法
35	P	平3-193853	91/08/23	新日本製鐵	チタン・アルミニウム金属間化合物の硬化方法
36	P	平3-197630	91/08/29	新日本製鐵	金属間化合物 TiAl 基合金の熱間加工法
37	P	平3-197631	91/08/29	新日本製鐵	金属間化合物 TiAl-Cr 基合金
38	P	平3-197632	91/08/29	新日本製鐵	金属間化合物 TiAl-Fe 基合金
39	P	平3-197633	91/08/29	新日本製鐵	酸化物添加金属間化合物TiAl基合金
40	P	平3-197634	91/08/29	新日本製鐵	高温耐酸化性に優れたTiAl金属間化合物
41	P	平3-197656	91/08/29	新日本製鐵	TiAl系金属間化合物の熱間加工方法
42	P	平3-199330	91/08/30	三菱製鋼	TiAl基金属間化合物合金の製造及び造塊方法
43	P	平3-199358	91/08/30	三菱金属	高靱性TiAl金属間化合物系Ti合金材の製造法
44	P	平3-219034	91/08/29	住友金属工業	耐酸化性に優れた金属間化合物TiAl基合金
45	P	平3-236438	91/10/22	イノ、フナ、イノチ、ヨシ、イノチ、イノチ	アルミニウム基複合金
46	P	平3-243734	91/10/30	日本タタリ	化合物焼結体の製造方法
47	P	平3-249147	91/11/07	住友金属工業	耐酸化性に優れた金属間化合物TiAl基合金及びその製造方法
48	P	平3-257130	91/11/15	大同特殊鋼	Ti-Al 系耐熱材料

49	P 平3-267330	91/11/28	チタ工業	アルミニウム－チタニウム系金属間化合物 ウイスキー
50	P 平3-274249	91/12/05	新日本製鐵	TiAl系金属間化合物を製造する方法

6.4.2. Ti-Al系金属間化合物—外国特許

No.	特許番号	公告日付	出願機関	題 名	備 考
1	US 4,891,184	90/01/02	Mikkola D E	Low density heat resistant intermetallic alloys of the Al ₃ Ti type	
2	US 4,902,474	90/02/20	General Electric	Gallium-modified titanium alminium alloys and method of preparation	
3	US 4,909,842	90/03/20	US DOE	Grained composite materials prepared by combustion synthesis under mechanical pressure	
4	US 4,915,903	90/04/10	Martin Marietta Corp	Process for forming composites having an intermatellic containing matrix	
5	US 4,915,904	90/04/10	Martin Marietta Corp	Process for stabilization of titanium silicide particulates within titaniumu aluminide containing metal matrix composites	
6	US 4,946,643	90/08/07	US DOE	Dense, finaly grained matarials	
7	US 4,950,043	90/08/21	Mcdonnell Douglas Corp	Distortion-free fiber optic sensors embedded in titanium	
8	US 5,098,469	92/03/24	General Motors Corp	Powder metal process for producing multiphase Ni-Al-Ti intermetallic alloys	
9	US 5,080,860	92/01/14	General Electoric Co.	Niobium and chromium contg. titanium aluminide rendered castable by boron inoculations	
10	US 5,089,225	92/02/18	General Electoric Co.	High-niobium titanium aluminide alloys	
11	US 5,028,491	91/07/02	General Electoric Co.	Gamma titanium alminium alloys modefied by chromium and tantalum and method of preparation	

12	US 5,045,406	91/09/03	General Erectoric Co.	Gamma titanium alminium alloys modefied by chromium and silicon and method of preparation
13	US 5,073,459	91/12/17	MTU Motoren-u Turbinen-Union	Sintered light-weight structural material and method of its manufacture
14	US 5,015,533	91/05/14	Texas Instru- ments Incorp.	Member of a refractory metal material of selected shape and method of making
15	US 5,006,054	91/04/09	Technology Development Corp.	Low density heat resistanst intermetallic alloys of the Al ₃ ti type
16	EP 0 349 734	90/01/10	Nippon Steel Corp	Titanium-aluminium intermetallic cpd. of improved room temp. ductility
17	EP 0 365 174	90/04/25	Daido Tokushuko	Titanium and alminium intermetallic cpd. composite material
18	EP 0 375 374	90/06/27	Techn Dev Corp	Low density heat resistant intermetallic alloys of the Al ₃ Ti type
19	EP 0 376 730	90/07/04	Westinghouse Elec Corp	Method of fabricating titanium-aliminium shapes
20	EP 0 389 821	90/10/03	Nippon Steel Corp	Titanium-aluminium intermetalliic cpd. continuous thin sheet
21	EP 0 406 638	91/01/09	General Electric	Titanium, aluminium, alloys contg. chromium and tantalum
22	EP 0 451 093	91 10/09	Alousuisse- Lonza Ser	Hochschmelzende, metallische verbindung
23	EP 0 469 234	91 12/11	新日本製鐵	Sheet of titanium-alminium intermetallic compound and process for producing the same

6.4.3. 高融点金属間化合物

No.	特許番号	公告日付	出願機関	題 名	備 考
1	US 4,915,902	90/04/10	Martin Marietta Corp	Complex ceramic whisker formation in metal-ceramic composites	
2	US 4,916,029	90/04/10	Martin Marietta Corp	Composites having an intermetallic containing matrix	
3	US 4,927,714	90/05/22	Barson Corp	Refractory metal composite coated article	
4	US 4,927,792	90/05/22	US DOE	Molybdenum disilicide matrix composite	
5	US 4,942,732	90/07/24	Barson Corp	Refractory metal composite coated article	
6	US 7,362,112	91/02/12	US DOE	Molybdenum disilicide reinforced with fine silicon carbide whisker	
7	US 5,000,896	91/03/19	US DOE	Molybdenum disilicide maitrix composite	
8	US 5,000,913	91/03/19	G. E.	Hafnium containing high temperature Nb-Al alloy	
9	EP 0 304 176	89/02/22	Barson Corp	Refractory metal composite coated article	
10	EP 0 372 309	90/06/13	G. E.	Hafnium containing high temperature alloy	
11	EP 0 374 507	90/06/27	G. E.	Niobium base high temperature alloy	
12	WO 89/07661	89/08/24	Martin Marietta Corp	Complex ceramic whisker formation inmetal-ceramic composites	
13	US 4,904,546	90/02/27	General Electric Co.	Material system for high temperature jet engine operation	

14	US 5,026,522	91/06/25	General Electric Co.	Nb-Ti-Hf high temperature alloys
15	US 5,028,390	91/07/02	S. L. Adelman	Niobium-based superalloy compositions
16	WO 91/19015	91/12/12	Cabot Corp.	Tantalum or niobium base alloys

7. 結言

現在進行中の「超耐環境性先進材料(金属間化合物)の開発」プロジェクト関連の研究動向を調査した。

世界各国で金属間化合物の研究開発が盛んに進められており、本プロジェクトと類似の活動が組織されている。これらの研究開発状況の米国、英国、ドイツにおける概要をまとめた。ここで指摘されるべきことは、それらのいずれにおいても基礎的研究が重視され、産学官の協力で広汎にかつ活発に進められていることである。ドイツでは第一段階で材料の選択が入念におこなわれ、現在選択された特徴的な合金系を含めて材料開発が進んでいる。英国では着実にスケールアップがなされている。米国では、NASPおよびIHPTET計画は縮小の方向ではあるが、米国が国際的な技術優位を保持する「国家重要技術」として位置づけられている。国防省主導の宇宙航空関連の研究開発とは別に、エネルギー省主導の基礎研究も着実に進んでいる。

次いで最近の注目すべき研究開発成果を取り上げた。それらは、ガンマ・チタン・アルミナイド低酸素材の溶製、静水圧冷間圧延、超塑性、ODS合金の開発などである。またTi-Al基三元系状態図の集成も、参照資料として有用である。これをもとに今後、実プロセスに即した組織形成の理解に役立つデータの蓄積が必要であろう。

「超耐環境性先進材料(金属間化合物)の開発」プロジェクトの目標や進め方について、国内外で活躍中の研究者たちの意見を求めた。極めて率直で貴重なコメントが得られた。それらは、以下のように集約される。

- (1) 目標については、目標設定の根拠が薄く実現の可能性は少ない。とくに高融点金属間化合物は非現実的である。
- (2) この種の新素材について材料特性値を目標に選ぶのであれば、目的用途を特定した上でなされるべきである。
- (3) 構造用金属間化合物の材質評価尺度として、延性を採用することは疑問である。また伸び3%という値の設計・実用上の意味は不明確である。
- (4) 国家プロジェクトとして、材質評価の規準化の確立が期待されている。参加者、非参加者、国内外でのデータが交流できることが望ましい。破壊靱性や疲労など特性値も含めて、各種の物理的・機械的性質を系統的にデータ・ベース化して実用化に備えるべきである。

- (5) 材料目標は一般的でありながら、アプローチとしてのプロセスは融体直接鋳造と超塑性加工のように限定的である。目標用途は航空機機体であり、それに要求される特性が室温延性と1100℃という高温強度とされている。目標特性・プロセス・用途の整合が必ずしも保たれていない。また内容は基礎研究と応用研究のいずれともつかず、中途半端である。
- (6) 組成・組織・特性の関係の材料科学的キャラクター化にもとづく深い理解を得ることが、信頼性のある新材料を開発する道である。
- (6) 各種の特性を見極めて適当な特徴的な用途を探索すべきである。先端的な宇宙航空用途だけでなく、「地についた」用途を模索する時期である。
- (7) 実用化へのスケールアップは極めて困難であり、多額の費用を要する事業である。国際的な協調の上で研究開発がなされねば、この材料の大型構造物への適用は実現されないであろう。
- (8) 下は今回のアンケートへの回答者の一人であるProfessor Froesが示した、チタン・アルミナイドの材料としての成熟度と実用化時期の予想である。

材料の成熟度

チタン・アルミナイド	材料成熟度*	実用化時期	
		非過酷条件**	過酷条件***
α -2	7	1992	2000
α -2/MMC	4	1995****	2005
γ	2	1992	2010
γ /MMC	1	1995****	>2010

- * 10: 完全な理解(組成・組織), 1: 最適条件不明
- ** 地上または無人飛行
- *** 有人・致命的用途
- **** 複合材の新しい特徴の実際の活用よりも実証試験への適用

本報告書の内容を公表する際はあらかじめ新エネルギー・産業
技術総合開発機構産業技術研究開発部の許可を受けて下さい。

電話 03-3987-9355