

ISIJ International 掲載記事概要

ISIJ International, Vol. 31 (1991), No. 10
掲載記事概要

Special Issue on Advanced High Temperature Intermetallics

Fundamental Properties

Weak-beam Transmission Electron Microscopy Analysis of Dislocation Processes in Intermetallics (Review)

By P. VEYSSIERE

Dislocation properties revealed by transmission electron microscopy in several families of intermetallic alloys and limitations such analyses are reviewed. The domain covered includes dislocation processes not necessarily related to mechanical properties, although some emphasis is made on this aspect.

Fundamental Aspects of Deformation and Fracture in High-temperature Ordered Intermetallics (Review)

By M. H. Yoo *et al.*

The mechanistic understanding of yield and flow strengths and brittle fracture behavior of ordered transition-metal aluminides has been critically assessed on the basis of quantum mechanical total-energy calculations, atomistic simulation modeling, and anisotropic elasticity theory of dislocations cracks. The bonding mechanism is described by the combination of charge transfer and strong p-d hybridization effects. The ground state elastic constants, various shear fault energies, and cleavage energies are calculated aluminides of cubic ($L1_2$ and $B2$) and tetragonal ($L1_0$ and $D0_{22}$) structures. The orientation dependence of Peierls stress at low temperatures is estimated based on the anisotropic coupling effect of non-glide stresses on the dislocation core. The anomalous yield behavior is analyzed by means of symmetry considerations and the interaction torque effect on the mobility of superdislocations subjected to a generalized applied stress. The ideal cleavage strength is determined by the surface electronic structure calculation, and the critical stress-intensity factor for Moae-I crack is obtained using the calculated cleavage energy and elastic constants. In tetragonal aluminides, the twin-slip conjugate relationship makes an important contribution to the strain compatibility for localized plasticity at a crack tip. The boron ductilizing effect in Ni_3Al and the hydrogen embrittlement effect in $FeAl$ and briefly discussed in terms of the present results.

Microstructure, Phase Stability and Alloy Design

Deformation and Fracture of $L1_2$ Trialuminides (Review)By E. P. GEORGE *et al.*

We review here recent experimental and theoretical work aimed at characterizing and understanding the deformation and fracture behavior of $L1_2$ trialuminides, with emphasis mainly on Al_3Ti -base alloys. We also review recent work on the binary compound Al_2Sc , which is a model $L1_2$ trialuminide that is being studied for comparison with first-principles quantum mechanical calculations. The topics covered this review include: alloy-element effects and phase stability; dislocation structures; mechanical properties; cleavage fracture behavior, and first-principles calculations of

elastic constants, fault energies, and ideal cleavage strengths. We discuss various possible reasons for the brittleness of these alloys, and summarize our current understanding of the rather unusual phenomenon of brittleness of cleavage in relatively soft materials having the high-symmetry $L1_2$ structure.

Alloying of Al_3Ti to Form Cubic PhasesBy D. E. MIKKOLA *et al.*

The recent discovery of cubic $L1_2$ trialuminides formed by alloying normally tetragonal Al_3Ti with Cr, Mn and Co, when combined with previous work with Fe, Ni, Cu and Zn as cubic stabilizing elements, makes it possible to examine changes in properties and structure as a function of the stabilizing element. In particular, the improvement in mechanical properties with the decreasing atomic number of the stabilizing, Zn to Cr, can be related to decreased bond strengths as strengths as shown by changes in the lattice constant and elastic moduli. As expected, there are corresponding changes in the nature of the dislocations carrying the plastic deformation. Recent attempts to understand the fracture of the cubic forms are discussed. Determinations of the cyclic oxidation resistance and the coefficient of thermal expansion for the alloys with best mechanical properties, $Al_{67}Cr_8Ti_{25}$ and $Al_{67}Mn_8Ti_{25}$ are also presented.

Phase Reactions and Processing in the Ti-Al Based Intermetallics

By J. H. PEREPEZKO

In the development of high temperature intermetallics, it has become evident that it is essential to consider the strong influence of materials processing. Among the fundamental data needed for effective processing are the relevant phase diagrams, the characteristic diffusivities and possible solidification reaction pathways. In the Ti-Al system recent advances in the clarification of the phase diagram had a direct impact on the analysis of phase stability and crystal growth processes. Building on the binary phase equilibria, it has been possible to develop new insight into the Ti-Al-Nb ternary system and the identification of ternary intermetallic phase reactions. Similarly, diffusion couple studies have allowed for an analysis of reaction rates that is a necessary basis for an effective microstructural control and design strategy especially in the case of intermetallic matrix composites.

Structure and Mechanical Properties of the Hot Pressed Compact of Ti-rich TiAl Powder Produced by the Plasma Rotating

By M. TOKIZANE *et al.*

Ti-47at%Al のTi-rich TiAl について、He プラズマ回転電極法による粉末を真空ホットプレスする方法で焼結体を作製し、その焼結体の組織と圧縮による機械的性質を検討した。その結果、この焼結体は等軸 γ 粗粒と ($\gamma + \alpha_2$) 層状組織粒からなる、平均粒径 $2\mu m$ の超微細二相混合組織であり、前報における化学量論的組成 (Stoi-TiAl 焼結体) に比較して、室温での強度、延性がすぐれていることがわかった。なお、この焼結体の $1223 K (950^\circ C)$ における圧縮流動応力は、Stoi-TiAl に比較してかなり低く、変形中に動的再結晶 (DR) による焼結粒の微細化と、層状 α_2 相の球状化が進行した。さらに、この焼結体の $1223 K (950^\circ C)$ における、ひずみ速度感受性指数 m 値は 0.3 より大きく、この温度での圧縮変形過程は DR と密接に関連した超塑性流動によって進行したものと判断された。

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

By M. DAHMS *et al.*

Gamma-base titanium-aluminides were produced reactive hot isostatic pressing (RHIP) of cold extruded titanium-aluminium elemental powder mixtures. Various RHIP temperatures well as additional heat treatments were applied in order to obtain different microstructures. Compression samples were tested between room temperature and 900°C. Changes microstructure during compression such as microcracking, inhomogeneous deformation and dynamic recrystallization were investigated. The measured properties are discussed with respect to microstructure.

Microstructure and Ductility of TiAl Alloys Modified by Cr Additions

By S. C. HUANG *et al.*

The effects of Cr additions to TiAl-base alloys have been investigated, using both consolidated rapid-solidification materials and wrought ingot materials. The composition ranges studied are 0-4 at% Cr and 44-54 at% Al. It was found that Cr additions do not affect the deformation behavior of single-phase γ alloys. However, they significantly enhance the plasticity of Al-lean duplex alloys, which contain grains of single-phase γ and grains of lamellar γ/α_2 . Plastic elongations of $\sim 4\%$ were measured in wrought Ti-46Al-2Cr at room temperature. Other Cr effects on the microstructure, phase stability, and site occupancy were characterized and correlated to the observed mechanical behavior. It was concluded that the ductilization effect of Cr is partially due to its ability to occupy Al lattice sites and modify the Ti-Al bond. It is also partially due to its ability to promote twin formation, by modifying the Al partitioning and therefore the γ/α_2 volume ratio in the lamellar regions.

Microstructures and Mechanical Properties of Ni-Nb Aluminides Produced by MA Process

By S. OCHIAI *et al.*

Ni-Nb-Al 三元系に属する種々の金属間化合物のうち、($\text{Ni}_3\text{Al} + \text{Ni}_3\text{Nb}$), ($\text{NiAl} + \text{NiAlNb}$), ($\text{NiAl} + \text{Ni}_3\text{Al}$) と単相の NiAl, Ni_3Al について微細組織を得る目的で機械的合金化 (MA) 法を応用した粉末冶金法により製造した。アトリタミルにて MA 処理後、真空ホットプレスにて焼結した。焼結アルミナイドは微細結晶粒組織 (平均粒径 $< 5\mu\text{m}$) を有し、相対密度は 96% 以上であった。室温では弾性領域で破壊する ($\text{NiAl} + \text{NiAlNb}$) と比較的脆性な ($\text{Ni}_3\text{Al} + \text{Ni}_3\text{Nb}$) を除く合金において高い流動応力と 10% 以上の圧縮特性が得られた。各合金は高温で定常変形挙動を示すと共に、試験中割れは観察されなかった。定常変形中の歪み速度感受性指数 (m 値) は NiAl を除く合金において 0.3 より高い値が得られ、特に ($\text{Ni}_3\text{Al} + \text{Ni}_3\text{Nb}$) 二相合金では 1173 K で $m=0.6$ の最も高い値を示した。これら m 値の大きな合金の高温変形は、超塑性変形の発現と密接に関連していると考えられる。

Structure and Properties of Ordered Intermetallics Based on the Fe-Al System (Review)

By U. PRAKASH *et al.*

Recent work on the ordered Fe-Al based intermetallics ($B2\text{-FeAl}$ and $D0_3\text{-Fe}_3\text{Al}$) for potential high temperature applications is reviewed with emphasis on improvements in mechanical properties achievable by processing and compositional control. Constitution and

microstructure as well as the role of crystalline defects, including vacancies, dislocations, tubes, antiphase boundaries and grain boundaries are discussed. The influence and behaviour of these defects with respect to strength, work hardening, ductility and fracture are analysed. Proposed mechanisms for deformation and recent investigations on creep and fatigue of these materials are also reviewed. Current literature on ternary additions, multiphase alloys and non-equilibrium processing is discussed.

Strength, Ductility and Fracture

Deformation and recrystallization Behavior of the TiAl Phase Constituting the TiAl/Ti₃Al Lamellar Structure of Ti-rich TiAl Compounds (Review)

By M. YAMAGUCHI

化学量論組成に近い組成を持ち、単一および 2 個の層状組織粒からなる TiAl 結晶を育成、その室温における変形挙動を研究した。その結果、層状組織粒の変形挙動は層状組織方位に強く依存することが判明した。一軸変形の場合、荷重軸が層状組織に平行あるいは垂直な時、高い伏応力が得られ (難変形モード)、荷重軸が層状組織に対して傾斜している時、非常に低い降伏応力が得られる (容易変形モード)。容易変形モードによる変形では、室温でも 20% に近い引張延性が得られ、50% 圧下率に至る冷間圧延すら可能である。冷間圧延材の焼鈍組織は圧下率に依存することが明らかとなった。本研究では、このような単一および 2 個の層状組織粒からなる TiAl 結晶の変形と再結晶に関する系統的な研究結果について review する。

Improvement of the Room Temperature Ductility of Stoichiometric Ni_3Al by Unidirectional Solidification

By T. HIRANO *et al.*

著者の一人は以前にフローティングゾーン法による一方向凝固 (FZ-UDS) により、延性化元素を添加しなくても Ni_3Al の室温延性を改善できることを報告した。 (*Acta Metall.*, **38** (1990), p. 2667). 本研究では FZ-UDS によって作製した化学量論組成 Ni_3Al の微細組織と機械的性質についてさらに詳細を報告する。凝固組織は成長速度に依存する。成長速度が 13 mm/h 以上のとき、柱状晶単相の組織となり、弱い $<100>$, $<110>$, $<210>$ 集合組織をもち、60% 以上の大きな室温引張延性を示す。破面には凝固すべりと粒内破壊が観察される。成長速度が 13 mm 以下のときは柱状晶の Ni_3Al マトリックス内にマルテンサイト状の第二相が析出し、この組織は 24 mm/h の成長速度で作製した材料に比べて、室温引張延性は小さい。これらの結果から、FZ-UDS 法は多結晶 Ni_3Al の室温延性を改善する有望な方法と考えられる。

Creep of $\alpha_2 + \beta$ Titanium Aluminide Alloys (Review)

By A. W. THOMPSON *et al.*

The interest in titanium aluminide alloys includes elevated temperature applications, for which creep resistance is a primary property. Tests have been made between 650°C and 870°C on a variety of microstructures of Ti-24Al-11Nb and Ti-25Al-10Nb-3Mo-1V (atomic percent) alloys. It has been found that microstructure plays an important role in creep of these materials, so that thermal and mechanical history is important. Stress exponents for power-law creep, and apparent creep activation energies, have been determined for these alloys. As is usually found in structural alloys, microstructural characteristics which increase ductility and toughness at low temperature tend to accelerate creep considerably, particularly the presence of beta phase, and most notably when arranged as locally-continuous β

films between plates of α_2 phase. Solution treatment in the β phase provided optimum creep resistance, but cooling rate effects were different in the two alloys considered. Comparison to near-alpha titanium alloys developed for creep resistance, shows that the aluminide alloys have better performance, especially above 700°C.

Isothermal Forging of TiAl-based Intermetallic Compound

By N. FUJITSUNA *et al.*

TiAl 成形加工の有力な手段と考えられている恒温鍛造条件を探索するため、TiAl の基本的な高温変形挙動を調査した。その結果、表面割れ等の欠陥を発生することなく、80%まで圧縮することができる加工条件があることが分かった。変形抵抗は通常の金属材料と同じく、Zパラメーターを用いて整理されることや、高温変形中に再結晶が起こり、組織がラメラ形態から微細な等軸粒組織に変化することが確認された。また、上記の結果をふまえて実際に恒温鍛造を実施したところ、十分に成形加工することができ、室温および1073Kでの力学的特性が、恒温鍛造により組織を微細等軸化するにより向上することが確認された。

これらの結果より、恒温鍛造はTiAlの製造プロセスとして非常に効果的であることが確認された。

Deformation Behaviour of TiAl Base Alloy Containing Manganese at Elevated Temperatures

By K. HASHIMOTO *et al.*

Ti-35mass%Al, Ti-36mass%Al 及び Ti-34.5mass%Al-1.45mass%Mn 合金の296-1073Kにおける圧縮特性をひずみ速度を $1.2 \times 10^{-1} \sim 1.2 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ と変えて調べ、TiAl 基合金の高温における機械的性質に及ぼす Mn 添加の影響を検討した。Mn の添加は試験温度範囲で TiAl 基合金の耐力を増加し、変形能を向上させた。Mn 添加合金は熱処理の有無にかかわらず、耐力の正の温度依存性を示した。鍛造材の耐力の正の温度依存性は Ti_3Al 相に起因し、熱処理材のそれは TiAl 相の Al 濃度の低下によると結論された。Mn 添加合金鍛造材は1073Kにおいて 10^{-1} s^{-1} のひずみ速度で50%以上健全に変形できた。

Effect of Carbon and Nitrogen on Mechanical Properties of TiAl Alloys

By T. KAWABATA *et al.*

単相および二相 TiAl 合金の室温機械的性質におよぼす炭素および窒素添加の効果が、炭素量および窒素量、Ti/Al 組成比および粒径依存性に関して引張試験によって研究された。1423Kで焼鈍した化学量論組成およびAlリッチ組成のTiAl合金において、炭素を添加しない合金の破壊塑性ひずみはほぼ0であるのに対して、炭素を0.3-0.6at%添加した合金のそれは0.6-0.8%に増大した。他の条件、すなわち、1423Kで焼鈍したTiリッチTiAl合金および1573Kで焼鈍した総てのTiリッチ、化学量論およびAlリッチTiAl合金において、炭素あるいは窒素の添加は破壊塑性ひずみを減少させた。少量の炭素および窒素の添加はTiAl相の単相胞の体積を減少させる。炭素を1.0at%含有するTiAl合金をX線ディフракトメーターを用いて解析した結果、 Ti_2AlC 相の存在が確認された。

Effect of Chlorine Content on Tensile Properties of Titanium Aluminide

By H. OGISHI *et al.*

不純物として混入しているCl量の異なるTi粉末を原料として、自己燃焼反応合成法により合成したTiAl金属間化合物粉末の焼結体について引張試験を行い、Cl量が引張特性に及ぼす影響を調査した。また同時に、引張試験後の破面観察・硬さ試験・含有O量の測定および組織観察も行った。

原料Ti粉末中の含有Cl量が多いほど、引張試験片中に存在する空孔は多くなり、引張応力は小さくなるが、伸びは含有Cl量の影響を受けないことがわかった。また、引張試験による破壊様相およびマイクロ組織については含有Cl量による相違は認められなかった。硬さについては、含有

Cl量による相違も、含有O量の増加にともなう硬化も認められなかった。

以上の結果から、TiAl金属間化合物粉末中に不純物として混入しているClは、焼結体中の空孔の原因となるが、マイクロ組織に影響を与えないことがわかった。また、この含有Cl量の相違が引張特性、特に引張強さに影響を及ぼすこともわかった。

Plastic Flow and Fracture of B2 NiAl-based Intermetallic Alloys Containing a Ductile Second Phase (Review)

By R.D. NOEBE *et al.*

The use of NiAl as a structural has been hindered by its lack of tensile ductility or toughness at room temperature. The operative flow and fracture mechanisms in monolithic NiAl leading to these poor low temperature properties are analyzed, demonstrating the need for ductile phase toughening. Progress in ductile phase reinforced intermetallics and NiAl-based materials are reviewed and the primary mechanisms involved in the flow and fracture of ductile phase reinforced alloys are clarified by recent investigations of directionally solidified NiAl-based materials. The mechanical behavior of these model alloys (Ni-30Al and Ni-30Fe-20Al (at%)) are discussed. The prospects for developing a ductile phase toughened NiAl-based alloy and the shortcomings presently inherent in these systems are analyzed.

Effect of Composition on the Mechanical Properties of Tough, High-temperature Intermetallics Compounds

By R. L. FLEISCHER

From measurements on more than 200 alloys 4 binary intermetallic compounds have been identified that melt above 1900°C and are tough at ambient temperature. Effects of alloying on elastic properties and room-temperature toughness are given for two of these compounds, RuTa (an L_{10} ($tP4$) structure) and AlRu ($aB2$ ($cP2$) structure). For selected alloys other mechanical data are presented. The high-temperature hardness of AlRu alloys are improved by 4% Sc, 0.5%B doubles the compressional strain to fracture, and Cr aids the oxidation resistance.

Environmental Effects

Environmental Embrittlement in FeAl Aluminides (Review)

By C. T. LIU *et al.*

In this paper we review experimental and theoretical findings related to the recently discovered mechanism of moisture-induced environmental embrittlement in FeAl-based alloys. We show that when low aluminum content FeAl alloys (35 and 36.5%Al) are tested in air, aluminum in the alloys reacts with moisture in the air, producing atomic hydrogen. This atomic hydrogen enters the metal in the vicinity of the crack tips and embrittles the FeAl aluminides. As a result, when the alloys are tensile tested in air, it is commonly found that they fracture with limited ductility by transgranular cleavage. When this embrittlement mechanism is suppressed (e.g., by testing in dry oxygen), ductility is found to increase dramatically (to as much as 17-18%), ductility is found to increase dramatically (to as much as 17-18%), and the fracture mode changes to intergranular. The intrinsic resistance to fracture is therefore quite high in these alloys. First-principles calculations confirm that the intrinsic cleavage strength

and energy of FeAl are indeed quite high (comparable to or slightly higher than that of a ductile alloy like Ni₃Al). The calculations also show that absorbed hydrogen can significantly reduce the cleavage strength and energy of FeAl (by as much as 20-70 %, depending on the hydrogen concentration), consistent with the proposed embrittlement mechanism. In higher Al content FeAl alloys (40 and 43 % Al), there is an additional cause of brittle fracture, namely intrinsically weak grain boundaries. In these alloys, the grain boundaries have to be first strengthened (by the addition of boron) before the moisture-induced environmental embrittlement mechanism becomes evident. Thus, the ductility of Fe-40Al alloys is approximately the same in air and dry oxygen, whereas the ductility of B-doped Fe-40Al.

Improvement of Oxidation Resistance for TiAl by Surface Treatment under a Low Partial Pressure Oxygen Atmosphere and Aluminum Diffusion Coating

By M. YOSHIHARA *et al.*

TiAl および 1.5 % Mn 添加の TiAl の耐酸化性を低酸素分圧下熱処理, Al 拡散浸透処理および両者を組み合わせた複合処理の各表面処理によって改善する研究を行った。その効果は 900°C および 950°C の静止大気中における繰り返し酸化試験により評価した。低酸素分圧下熱処理は TiAl の 900°C での繰り返し酸化における耐酸化性の改善に大きな効果を示すが、酸化温度 950°C の場合および Mn 添加材では、900°C と 950°C の両温度ともその効果は十分ではない。Al 拡散浸透処理は耐酸化性改善に有効であるが、拡散浸透層は試片角部で大きな割れを生じやすい。複合処理を施すと試片の耐酸化性は大きく改善され、ニッケル基超合金インコネル 713C 以上の良好なものとなる。中でも低酸素分圧下熱処理を施して、さらに拡散浸透を行うという複合処理では、試片角部の割れ発生も単独処理に比べて改善される。

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

By K. KUSAKA

TiAl P/M 化合物の機械的性質や酸化挙動に及ぼす Si, B, Nb の影響について、600~1200°C の温度範囲で調べた。TiAl 合金に Si や Nb を添加するとアルミナの保護被膜が生成し、酸化抵抗がかなり改善される。一方、TiAl の表層だけを Si 富化すると機械的性質に影響をあたえないで、耐酸化性を向上させることができる。

概して TiAl 合金の引張強さは脆性-延性遷移温度近くの 800°C で最大の 350 MPa 以上となり、これ以上の温度域で破断伸びが増加する。しかし NNS 加工に十分な超塑性伸びは得られなかった(粉末材料特有の結晶微細化に Si 添加は有効である)。

またクリープ破断強さにも Nb 添加による改善効果が見られ、結局、TiAl-1.5% Si-(3-6)% Nb が ~900°C 大気中での使用材料として推奨できることが解った。

Processing and Applications

Developments in Processing Technology of Gamma of Titanium Aluminides for Potential Application to Airframe Structures (Review)

By M. MATSUO

軽量耐熱材料として期待されるガンマ・チタン・アルミナイド合金の実用化可能性をプロセッシング技術より考察した。薄板のニア・ネット成形と加工熱処理による組織制御を経て、機体構造への応用に必要な超塑性特性付与を主眼とするプロセスを対象とした。従来のチタン合金やアルファ 2 基合金の成分・プロセス設計と組織制御技術の現状展望をもとに、それをさらに製造性の乏しいガンマ基合金へ移転し、展開する可能性と問題点を検討した。直接薄板製造や

複合組織化による熱間加工性改善など、小規模実験においてガンマ基合金の薄板製造への期待は窺える。しかし実用化のために均質性や不純物制御など材料要因から必要とされる溶解や一次・二次成形プロセッシング条件は厳しく、満足すべき供用特性を工業的規模で実現するのは、過去の金属材料に比して著しく大きな困難を伴うと予想される。この素材が厳しい環境下での実用に耐える高い信頼性と耐久性を保証できるように育成するには、供用特性と製造性の両面にわたる高度で広範な材料科学的理解と裏付けが求められる。

Recent Progress on Intermetallic Alloys for Advanced Aerospace Systems (Review)

By D. M. DIMIDUK *et al.*

Selected intermetallic materials undergone an evolutionary process whereby some of them could provide major payoffs in aerospace systems. The maturation of intermetallic alloys based on Ti₃Al has provided significant hope making still greater advances in turbine performance through further developments in other intermetallic materials. The development results obtained to date have highlighted the fact that much of the fundamental basis from which these materials may be understood has simply not been built and suggested that widespread implementation of these materials lies in the distant future. This paper briefly reviews the recent research results on selected intermetallic alloys being pursued as high temperature structural materials. Specifically, advances and findings from studies performed during the last three years on alloys of the titanium aluminides, nickel aluminides and other intermetallics for service at temperatures over 1300 K are reviewed. Technical challenge and pacing unknowns are highlighted throughout.

Production, Characteristics, and Commercialization of Titanium Aluminides (Review)

By F. H. FROES *et al.*

The production, characteristics, and commercialization of monolithic and composite titanium aluminides presented with emphasis on use in the demanding aerospace industry. The attractive elevated temperature combined with a low density are attractive, but inherently low "forgiveness", and environmental concerns, must be overcome before wide-spread use will occur.

Discontinuously Reinforced Intermetallic Matrix Composites (Review)

By K. SHARVAN KUMAR

Intermetallic matrix composites have recently received considerable attention as potential candidates for high-temperature applications. A variety of matrices and reinforcements have examined to date, and reinforcement type, volume fraction, fraction, size, shape, and distribution have been shown to affect microstructure and mechanical properties. Several innovative approaches have been devised to produce discontinuously reinforced composites, ranging from such conventional techniques as blending, mechanical alloying and rapid solidification processing to more exotic techniques, such as reactive consolidation and XDTM technology, which depend on the exothermic heat of formation of compounds. Composite mechanical properties of interest typically include high-temperature strength, the strain-rate dependence of strength, and ambient-temperature toughness and/or ductility. Thermodynamic stability of the reinforcement, elastic modulus mismatch with the matrix, differences in thermal expansion coefficient be-

tween the matrix and reinforcement influence these properties. This paper addresses recent advances in these areas.

Diffusion Bonding of Intermetallic Compound TiAl

By Y. NAKAO *et al.*

本研究では、TiAl の接合技術を確認することを目的として、Ti-38mass% Al 铸造材を用い固相拡散接合を行い、その適切な接合条件の選定、接合現象および機械的性質について検討を行った。

接合界面においてボイド及び酸化物の少ない接合継手をつくるため、接合温度 1473 K、接合時間 3.84 ks、接合圧力 15 MPa および接合雰囲気 26 MPa の接合条件で接合を行った。この接合継手に対して室温、1073 および 1273 K における引張試験を実施した結果、室温では母材破断する接合継手が得られたものの 1073 K および 1273 K では引張強さが母材に比べておのおの約 45 および 40 MPa 低下し、しかもすべて接合界面で破断した。そこで、1273 K での接合継手の引張強さを改善するために、接合部において再結晶を生じさせ、さらに 1573 K 熱処理を施し再結晶粒を粗大化させた再結晶接合継手を作製した。これに対して 1273 K における引張試験を実施した結果、接合部での再結晶粒径が 130 μm 程度で引張強さが母材並となり完全に母材破断する接合継手であった。

Cold Rolled Titanium Aluminide and Titanium Alloy Foils

By S. C. JHA *et al.*

Recent interest in fabricating high modulus, high strength titanium matrix composites has created a need for good quality titanium alloy foils. To fabricate continuous fiber reinforced metal matrix composites, an alternating lay-up of titanium alloy foil and fiber mats is prepared, and consolidated by hot pressing or HIPing. Due to various problems encountered in cold rolling titanium alloy sheets to thin gauges (< 0.010 in.), such foils have often been produced by chemical milling. However, chemically milled foil, often has poor

surface finish, excessive gauge variation and may contain holes due to uncontrollable chemical attack. Chemically milled foil also suffer from hydrogen embrittlement and may pick up other chemical impurities. In the present work, a method of producing rolled foils of titanium alloys and titanium aluminide in intermetallics has been developed. The rolled foils exhibit excellent surface finish, good mechanical properties, uniform gauge and are free from extraneous chemical contamination. Mechanical working coupled with heat treatments allows the flexibility of tailoring the microstructure and mechanical properties of the rolled foil for specific applications. The characteristics of cold rolled and annealed titanium alloy and titanium aluminide foils are described.

Fabrication of $\text{Ti}_2\text{AlC}/\text{TiAl}$ Composites Using Combustion Reaction Process

By H. MABUCHI *et al.*

TiAl 金属間化合物は、軽量耐熱構造材料として現在もっとも期待されている材料の一つであるが、実用化していくためには室温での靱性と高温強度を確保することが必要である。この対策として最近、ボライド (TiB_2) のような第 2 相を含む複合組織材料にする試みがある。

本研究では、Ti, Al および C 粉末の混合圧粉体を燃焼反応させることにより、TiAl と同時に炭化物 (Ti_2AlC) を合成して *in-situ* で複合材料化させることを試みた。本実験では、得られた反応生成物をさらにアーク溶解することによって、インゴットの材料とした。これにより、マトリックスが TiAl (一部 Ti_3Al を含む) であり、 Ti_2AlC 粒子 (5-15 μm の楕円状あるいは柱状) が 18-56 % の体積率で均一分散した複合組織材料を得た。この $\text{Ti}_2\text{AlC}/\text{TiAl}$ 複合材料は、TiAl 単相に比べ室温から高温まで 2-3 倍の高い降伏強度を示し、延性に関しても室温で約 18 % まで圧縮変形が可能であった。以上により、燃焼反応プロセスを利用した複合組織材料の作製は、今後有望な方法として期待できる。

会員には「鉄と鋼」あるいは「ISIJ International」のいずれかを毎号無料で配布いたします。「鉄と鋼」と「ISIJ International」の両誌希望の会員には、特別料金 5 000 円の追加で両誌が配布されます。

● 編集後記 ●

本号が皆様のお手元に届く頃には夏の名残はわずかなり、天高く馬肥える秋、また、読書の季節でしょう。しかし、今は猛暑のなか、傍らには査読を依頼された原稿を横目に編集後記を書いています。

査読を依頼されるたびに、いくつかの感慨がわきます。

ご投稿者には失礼ながら一瞬、熱心な実験姿や、執筆姿を空想することが多い。工夫された実験設備などが想像できるときには冥利に尽きます。研究開発は必ずしも新しい工夫の実験設備からのみ生まれるものではないにしても、新しい試みで新しい現象に遭遇することが確率として多そうだからです。

また、「鉄と鋼」に投稿決定された経緯はどのようなものであったろうとも想像をたくましくしてしまいます。20 年以上前には英国や米国の雑誌が図書館に着くのを待ちかねていた覚えがありますが、本誌が今ではその役割を担えていたいものです。日本の鉄鋼業の隆盛と同様に学問・技術の最重要な発信基地として機能できることが国際的にも求められているのでしょう。今や、国際会議華やかなりし時、「もっとコスモポリタンであれ」との声も聞かれそうではありますが、今、我々に求められているのではないのでしょうか。

投稿を編集委員一同大いにお待ちしております。

K. O.