

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 16 日現在

機関番号：14301	
研究種目：挑戦的萌芽研究	
研究期間：2011	
課題番号：23656429	
研究課題名（和文）	イントリンシック界面変形抵抗—マイクロピラー試験から探る新規な界面構造物性
研究課題名（英文）	Intrinsic Deformation Resistance of Interface -New Interface Structure Properties Deduced by Micropillar Deformation
研究代表者	
乾 晴行 (INUI HARUYUKI)	
京都大学大学院工学研究科・教授	
研究者番号：30213135	

研究成果の概要（和文）：ラメラ構造をもつ 2 相 TiAl/Ti₃Al 合金を供試材として選定して、種々のラメラ界面を含むマイクロピラー試験片を作製し、試験片サイズの関数として圧縮試験を行い、ラメラ界面を含む試料と含まない試料の降伏応力の差異の試験片サイズ依存性から真に変形伝播に対する界面抵抗—イントリンシック界面変形抵抗—の導出を試みた。イントリンシック界面変形抵抗の大きさは、界面での変形モード間の歪の適合性により決定され、試料サイズがミクロンメートル以下でのみ導出が可能となる。

研究成果の概要（英文）：With the use of a two-phase TiAl/Ti₃Al lamellar alloy, the ‘intrinsic’ interface resistance against the passage of deformation, which is termed “intrinsic deformation resistance of interface” has been investigated by conducting micropillar compression tests as a function of specimen size. The micropillar specimen usually contains a twin boundary parallel to the compression axis in the middle of specimen. The deduction of “intrinsic deformation resistance of interface” was made through the size dependence of the yield stress difference between specimens of the same size with and without a twin boundary. The magnitude of “intrinsic deformation resistance of interface” is proved to be basically determined by the incompatibility among the operative deformation modes across the twin boundary and to be determined only with the specimen whose size is below μm .

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,200,000 円	960,000 円	4,160,000 円

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料工学・構造・機能材料

キーワード：界面変形抵抗, 弾性拘束応力, 粒内転位源, 歪適合性, マイクロピラー, 試験片サイズ依存性, 降伏応力, 転位

1. 研究開始当初の背景

実用に供される多くの構造材料では、結晶粒界や異相（析出物など）界面などを利用して強化が図られている。そのため界面の構造や変形抵抗などは古くから多くの研究対象となっている。しかし、バルク（強度）特性の発現のためには、多数の界面を導入する必要があり、個々の界面の強化特性を評価した例は意外に少ない。ラメラ構造をもつ 2 相 TiAl/Ti₃Al 合金もその例で、ラメラ界面により強化が図られていて、バルク全体として界面強化された結果の強度は分かっても、

TiAl/Ti₃Al 界面や TiAl/TiAl 界面の強化特性は全く知られていない。しかし、最近の我々のマイクロピラー試験片を用いた研究から、これら個々の界面の強化特性が明らかになりつつあり、界面の強化特性にはバルク双結晶の実験では明らかにできない特異な試験片サイズ依存性が存在することが分かってきた。

すなわち、2つの TiAl ドメインで双晶境界と交差するバーガースベクトルを持つ変形モード ($1/6\langle 112 \rangle$ 双晶転位) が選択されると、降伏応力は双晶境界を含むマイクロピラー

応力は、試験片サイズ小さくなるにつれて大きくなるが、双晶境界を含むマイクロピラー試験片の降伏応力も同程度の増加を示し、双晶境界を含むか含まないかは、降伏応力には殆んど影響しない。透過電子顕微鏡 (TEM : transmission Electron Microscopy) や SEM (SEM : Scanning Electron Microscopy) チャネリング・コントラストで変形組織を観察しても、双晶境界を横切るように $\langle 011 \rangle$ 超格子転位が観察されたが、双晶境界に対して転位が堆積することはなく、全く応力集中なしに転位が、双晶境界を横切ることがうかがえた。つまり界面における歪の適合性が良好な場合 (この場合は皆無)、転位は界面を抵抗なしに横切ることができ、イントリンシック界面変形抵抗は皆無と考えてよいことが明らかになった。

しかし、2つの TiAl ドメインで双晶境界と交差するバーガースペクトルを持つ変形モード ($1/6\langle 112 \rangle$ 双晶転位) が選択されると、個々のドメインのマイクロピラー試験片と同様に、双晶境界を含むマイクロピラー試験片の降伏応力も増加するが、その降伏応力の増加は双晶境界を含むマイクロピラー試験片でかなり大きくなる (図 1(b))。この降伏応力の増大は試験片サイズに強く依存し、サイズが小さくなるほど増大する。この増大は、試験片サイズが $2\mu\text{m}$ よりも小さくなると顕著に現れ、 $1\mu\text{m}$ の試験片サイズでは、降伏応力の増大は 2~3 倍にも達する。これらから、界面での変形モード間の歪の適合性が重要な役割を果たすと考えられ、ラメラ界面の弾性拘束応力の減少や粒内転位源からの応力集中の低下は試料厚さ $2\mu\text{m}$ を境に大きく変化すると結論付けることが出来る。TEM, SEM による変形組織の観察でも、双晶境界の両側のドメインで変形双晶に加え、 $1/2\langle 110 \rangle$ 普通転位が観察され、一方のドメインで $1/2\langle 110 \rangle$ 普通転位が双晶境界に対して堆積するのが見られた。しかし、普通転位の堆積の度合いは、すべり帯により大きく異なり、応力集中の度合いを堆積転位の形態から導き出すのは困難であった。いずれにせよ、界面でのひずみの不適合がある場合、転位は通過に際し、界面で大きな抵抗を受け、この界面通過抵抗は堆積転位による応力集中により緩和されることが明らかとなった。応力集中は試料サイズが大きいほど効果的に現れる。

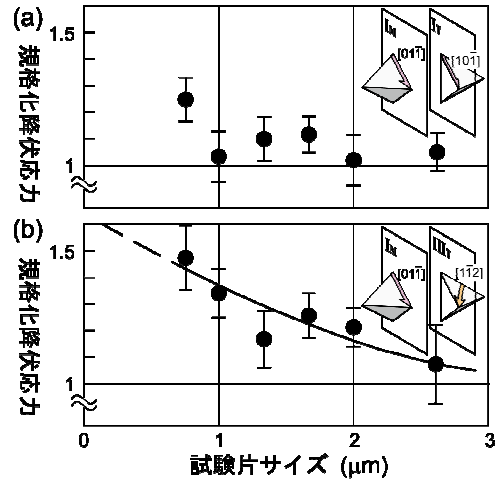


図 1. 擬双晶境界を含む TiAl/TiAl マイクロピラー試験片の降伏応力の試験片サイズ依存性；活動変形モードの組み合わせは(a) $\langle 011 \rangle$ 超格子転位 - $1/2\langle 110 \rangle$ 普通転位, (b) $\langle 011 \rangle$ 超格子転位 - $1/6\langle 112 \rangle$ 双晶と $1/2\langle 110 \rangle$ 普通転位。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

1. N.L. Okamoto, T. Oohashi, H. Adachi, K. Kishida, H. Inui and P. Veyssiere, Plastic Deformation of Polycrystals of $\text{Co}_3(\text{Al}, \text{W})$ with the L_{12} Structures, Philosophical Magazine, 査読有, Vol. 91 (2011), No. 28, 3667-3684.
2. H. Yokobayashi, K. Kishida, H. Inui, M. Yamazaki and Y. Kawamura, Enrichment of Gd and Al Atoms in the Quadruple Close-Packed Planes and Their In-Plane Long-Range Ordering in the LPSO Phase in the Mg-Al-Gd System, Acta Materialia, 査読有, Vol. 59 (2011), No. 19, 7287-7299.
3. K. Fujimura, K. Kishida, K. Tanaka and H. Inui, Compression of Micropillars of TiAl Coexisting with Ti_3Al , MRS Symposium Proceedings, 査読有, Vol. 1295 (2010), 201-206.

[学会発表] (計 14 件)

1. 乾 晴行, 高温構造材料としての遷移金属アルミナイド, シリサイドの力学物性, 日本金属学会 2012 年春期 (第 150 回) 大会, 2012 年 3 月 28 日-30 日, 横浜国立大学.
2. 西村卓也, 岸田恭輔, 乾 晴行, 出村雅彦 Ni_3Al 単結晶マイクロピラー圧縮変形挙動に及ぼす合金組成の影響, 日本金属

学会 2012 年春期 (第 150 回) 大会, 2012 年 3 月 28 日-30 日, 横浜国立大学.

3. 井元雅弘, 岡本範彦, 乾 晴行, Fe-Zn 系 ζ 相金属間化合物単結晶のマイクロピラー圧縮変形, 日本金属学会 2012 年春期 (第 150 回) 大会, 2012 年 3 月 28 日-30 日, 横浜国立大学.

4. H. Inui, K. Kishida and N.L. Okamoto, Plasticity and Dislocation Structures in $L1_2$ -Ordered Intermetallic Compounds and Transition-Metal Silicides, 2012 TMS Annual Meeting & Exhibition (TMS2012), 2012 年 3 月 11 日-15 日, Orlando, U. S. A.

5. 檜岡大輔, 岡本範彦, 平藤哲司, 乾 晴行, ナノ結晶マイクロピラーの圧縮変形挙動, 日本金属学会 2011 年秋期 (第 149 回) 大会, 2011 年 11 月 7 日-9 日, 沖縄コンベンションセンター.

6. 藤村和樹, 岸田恭輔, 乾 晴行, TiAl マイクロピラー圧縮変形挙動の試験片サイズおよび組成依存性, 日本金属学会 2011 年秋期 (第 149 回) 大会, 2011 年 11 月 7 日-9 日, 沖縄コンベンションセンター.

7. 西村卓也, 岸田恭輔, 乾 晴行, 出村雅彦 Ni_3Al 単結晶マイクロピラー圧縮変形挙動の試験片サイズ依存性, 日本金属学会 2011 年秋期 (第 149 回) 大会, 2011 年 11 月 7 日-9 日, 沖縄コンベンションセンター.

8. K. Kishida, K. Goto and H. Inui, Deformation Mechanisms of PST TiAl under various strain conditions, 4 th International Workshop on Titanium Aluminides, 2011 年 9 月 13 日-16 日, Nurnberg, Germany.

9. H. Inui, Temperature Dependence of Yield Stress and Dislocation Dissociation in $L1_2$ -Ordered Intermetallic Compounds, European Congress on Advanced Materials and Processes (Euromat 2011), 2011 年 9 月 12 日-15 日, Montpellier, France.

10. Kishida, K. Goto and H. Inui, Plane Strain Compression of PST TiAl, European Congress on Advanced Materials and Processes (Euromat 2011), 2011 年 9 月 12 日-15 日, Montpellier, France.

11. T. Nishimura, K. Kishida, H. Inui and M. Demura, Compression of Micropillars of Stoichiometric Ni_3Al , European Congress on Advanced Materials and Processes (Euromat

2011), 2011 年 9 月 12 日-15 日, Montpellier, France.

12. D. Kashioka, K. Nishimura, N.L. Okamoto and H. Inui, Deformation of Micropillars of Fe-Zn Intermetallic Phases Formed on Galvaneled Steels, European Congress on Advanced Materials and Processes (Euromat 2011), 2011 年 9 月 12 日-15 日, Montpellier, France.

13. K. Fujimura, K. Kishida and H. Inui, Compression of Micropillars of Single Crystalline TiAl, European Congress on Advanced Materials and Processes (Euromat 2011), 2011 年 9 月 12 日-15 日, Montpellier, France.

14. H. Inui, Temperature Dependence of Yield Stress and Dislocation Dissociation in $L1_2$ -Ordered Intermetallic Compounds, THERMEC'2011 Symposium on Intermetallics, 2011 年 8 月 1 日-5 日, Quebec City, Canada.

[図書] (計 0 件)

該当なし

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

該当なし

○取得状況 (計 0 件)

該当なし

[その他]

ホームページ等

<<http://www.mtl.kyoto-u.ac.jp/groups/inui-g/inui.html>>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

乾 晴行 (INUI HARUYUKI)

京都大学大学院工学研究科・教授

研究者番号: 30213135

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし