

УДК 621.7.044.2; 621.762.04

Лобода П. И., Зворыкин Л. О., Косюк В. С., Солодкий Е. В.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт».
Украина, г. КиевАНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ СОЗДАНИЯ ТИТАНА, АРМИРОВАННОГО ВОЛОКНАМИ
ДИБОРИДА ТИТАНА, УСТОЙЧИВОГО К ДИНАМИЧЕСКИМ ЗАГРУЗКАМ

Титановый сплав получали при спекании порошков Ti и TiB₂ с последующей холодной пластической деформацией со степенью деформации 20%. Проведен анализ структуры и фазового состава полученного материала. Для расчета параметров взаимодействия высокоскоростного ударника с полученным материалом рассчитана адиабата Гюгонио для нового материала. Анализ особенностей фазовых переходов при динамических давлениях 5–20 ГПа позволил оценить границы устойчивости сплава Ti + TiB₂ к ударным нагрузкам.

Ключевые слова: титан; диборид титана; металлографическая структура; микротвердость; ударная адиабата.

Титановые сплавы представляют интерес для применения в конструкциях, применяемых для защиты от ударных нагрузок. Для бронезащитных целей НИИ стали (РФ) используют высокопрочные α и β -сплавы с уровнем прочности 800...900 МПа. В ВСМО-АВИСМА (РФ) разработан и испытывается новый сплав VST-2В, предназначенный для бронезащиты. Сплав относится к экономнолегированным и был представлен на выставке вооружения военной техники и боеприпасов «RussiaArmsExpo 2015» (РАЕ-2015) Екатеринбург, РФ. Главное преимущество такого вида сплавов это меньшая плотность в сравнении со сталями и большая долговечность в сравнении с керамиками.

Одно из направлений создания сплава на основе титана, устойчивого к ударным воздействиям, создание металлической матрицы, армированной высокотвердыми включениями TiB_n. Получение композита, упрочненного частицами TiB_n описано в работе [1], где, в частности, показаны преимущества метода самораспространяющегося синтеза с медленным прессованием. Давление прессования составляло 700 МПа, а СВС проводили в реакторе при температуре 1155 К. Общее количество упрочняющей фазы составляло от 33 до 44 об.% TiB_n. Дисперсные пластинчатые частицы TiB_n имели размер от 2 до 30 мкм. Твердость полученного материала составляла HV = 5,6...7,1 ГПа, а $\sigma_{\text{н}} = 2,1...2,3$ ГПа. Получение аналогичного материала с 10 об.% TiB₂, 4 мас.% Fe, 7 мас.% Mo, описанное в [2] осуществляли путем импульсного плазменного спекания при 1073, 1273 и 1473 К при 20 МПа в вакууме при нагреве 50 град./мин. в течение 5 мин.

Наилучшие механические характеристики были получены при температуре $1273 \text{ K} \rho = 0,996 \rho_{\text{кр}}$, $E = 146 \text{ ГПа}$, $\sigma_{\text{н}} = 0,864 \text{ ГПа}$.

Таким образом, анализ современных достижений в области создания микрокомпозиционных сплавов Ti–TiB_n показывает, что это направление обеспечивает достижение показателей материалов, соответствующих (или превышающих) механическим характеристикам перспективных высокопрочных титановых сплавов, применяемых для бронезащиты.

В настоящей работе сплав получали при спекании порошков Ti и TiB₂, которое осуществляли после смешивания Ti-мас. 95% и TiB₂-мас.5%. и прессования $P = 0,65 \text{ ГПа}$, $T = 1450 \text{ К}$. Полученные компактированные образцы подвергали холодной пластической деформации пропуская через фильеру со степенью деформации $\epsilon = 20\%$.

Сплав Ti–TiB₂ представляет собой микрокомпозиционный сплав: матрицы, состоящей из смеси α - и β -фаз; β -фаза образует основу или матрицу, в которой распределены дисперсные выделения α -фазы (рис. 1). Выделения α -фазы имеют вид близкой корзиночному типу с элементами пластинчатой структуры, армированный микроволокнами диборида титана.

Волокна распределены хаотично по всему объему, а их толщина составляет 3...10 мкм. На площади 1 мм² находятся волокна длиной 5...150 мкм. Толщина волокон TiB₂ почти в три раза превышает толщину вытянутых α -зерен.

В ориентации волокон TiB₂ не наблюдается выделенных направлений, но это характерно при интегральном анализе значительной площади. В

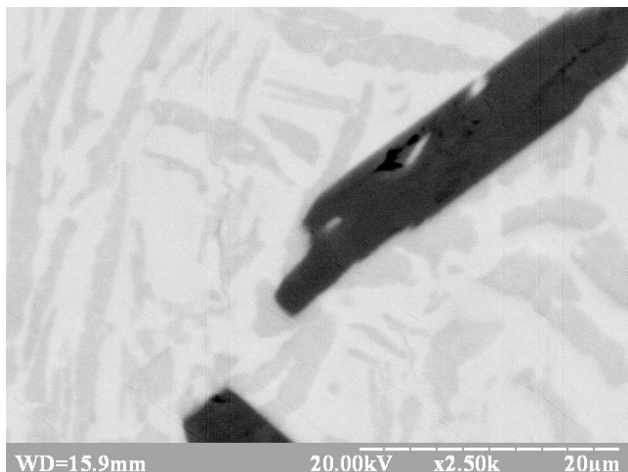


Рис. 1. Структура сплава Ti-TiB₂

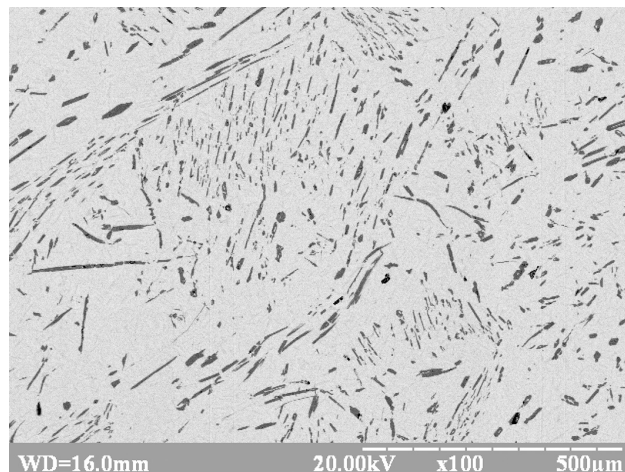


Рис. 3. Распределение волокон TiB₂ в титане

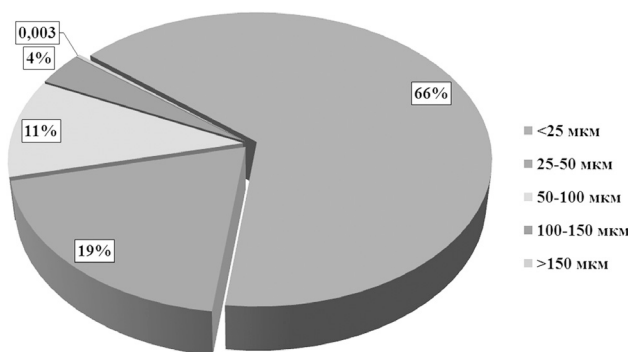


Рис. 2. Распределение количества волокон TiB₂, наблюдаемых на площади 1 мм², по длине

пределах локальных областей близлежащие пластины TiB₂ имеют совпадающую направленность (рис. 3).

Средняя микротвердость материала титановой матрицы составляет 476 HRV, а в зоне упрочняющего волокна – 640 HRV.

Анализируя перспективу применения полученного материала, в качестве защитных пластин при действии высокоскоростного ударника, следует отметить ряд особенностей титана при ударно-волновом воздействии. В соответствии с данными [3] при динамическом сжатии титана α→ω превращение протекает при достижении критического давления 7,5 ГПа, характерно, что эта величина изменяется от 2 до 7,5 ГПа в различных условиях деформирования [4,5]. В частности при фиксации ω-фазы после разгрузки путем понижения температур [4] показано, что количество этой фазы возрастает при повышении давления ударного сжатия до 25 ГПа. Регистрация фазового перехода при регистрации фронта ударной волны по двухволновой структуре в работах [6-8] позволила установить критические давления 11,7 ГПа [6], 6,0 ГПа [7] для титана марки VT1-0 и 10,4 ГПа

для электролитического титана [8]. При этом обнаружено [7], что увеличение амплитуды ударной волны от 16 до 24 ГПа изменяет давление фазового перехода от 5,7 до 9,7 ГПа.

Информация о наличии фазовых переходах в TiB₂ в твердом состоянии в опубликованных работах отсутствует.

Ударные адиабаты титана и TiB₂ можно описать следующей зависимостью:

$$D = a_0 + a_1 u$$

Таблица 1

Фактор та їх рівні варіювання

Материал	a ₀	a ₁	ρ ₀ , г/см ³
TiB ₂	8,38	0,91	4,484
Ti	4,722	1,128	4,5

Расчет ударной адиабаты сплава Ti-TiB₂ с 5 мас.% TiB₂, представленной на рис. 4, выполнен по методике [9].

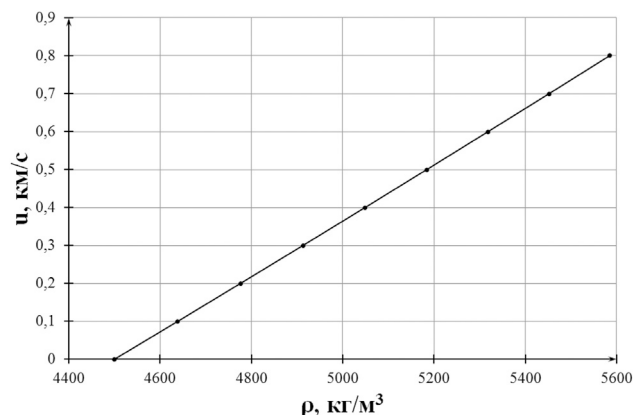


Рис. 4. Ударная адиабата сплава Ti-TiB₂ с 5 мас.% TiB₂

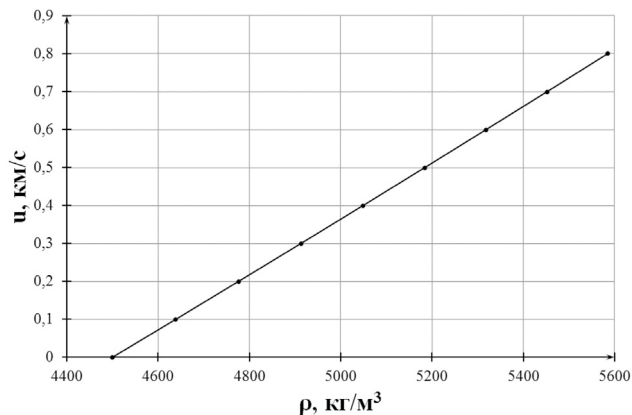


Рис. 5. Ударные адиабаты P - u сжатия сплава $Ti-TiB_2$ с 5 мас.% TiB_2 и торможения стального ударника со скоростью 790 м/с

Для оценки перспектив применения сплава $Ti-TiB_2$ с 5 мас.% TiB_2 в качестве защитной преграды для стального цилиндрического ударника, летящего со скоростью соударения 790 м/с, целесообразно определить амплитуду динамического давления в ударной волне, генерируемой при таком соударении. Для его определения необходимо на P - u диаграмме определить точку пересечения адиабаты динамического сжатия сплава $Ti-TiB_2$ с 5 мас.% TiB_2 и адиабаты разгрузки стального ударника [11].

Соответствующая зависимость приведена на рис. 5. Динамическое давление при соударении соответствует $P = 9,45$ ГПа, а $u = 0,545$ км/с.

Полученные результаты дают основания считать, что введение диборида титана в титановую матрицу является позитивным фактором влияния для создания эффективного материала преграды для высокоскоростных ударников. Это позволяет снизить динамическое давление в преграде в сравнении с титаном, а соответственно снизить полноту $\alpha \rightarrow \omega$ перехода

мартенситного типа [4], вызывающего разупрочнение при фазовом превращении.

Литература

- [1] Synthesis of near net shape high density TiB / Ti composite / T. Yamamoto, A. Otsuki // Mater.Sci.Eng. — 1997. — V.239-240. — P.647-651
- [2] Spark plasmas inter in greaction synthesized TiB reinforced titanium matrix composites / F. Haibo, J. Dechang, Z. Yu // Composities, Hart. A. — 2005.-V.36. — P.558-563
- [3] McQueen R.G., Marsh S.P. // In: High-Velocity Impact Phenomena. / Ed.: Kinslow R. New-York/ Academic Press. 1970.- P.293
- [4] Кутсар А. Р., Герман В. Н., Носова Г. И. // ДАН СССР, 1973, Т.213, с.81
- [5] Sikka S. K., Vohra Y. K., Chidambaram R. // Prog. Mater. Sci. 1982, V27/ P/245
- [6] Кутсар А. Р., Павловский М. Н., Комиссаров В. В. // Письма в ЖТФ. 1982. Т.35. №3, с.91
- [7] Кисилев А. Н., Фальков А. А. // Физика горения и взрыва. 1982. Т.18, с.105
- [8] G. T. Gray III. // Shock Compression of Condensed Matter/ 1989/ Ed/: Schmidt S.C., Johnson J.N., Davison L.W. Els. Sc. Publ. B.V. 1990. P. 407
- [9] LAS L Shoock Hugoniot data (Los Alamous Series on Dynamic Material Properties). Editor S. P. Marsh, University of California, Press. Berkeley. Los Angeles — London, 1980, 687 p.
- [10] Белякова М. Ю., Жерноклетов М. В., Сутулов Ю. Н., Трунин Р. Ф. Ударное сжатие металлических сплавов // Свойства конденсированных веществ при высоких давлениях и температурах. ВНИИЭФ, Арзамас -16.-1992, с.187-197
- [11] Trunin R. F. Shock Compression of Condensed Materials - All-Russian Research Institute of Experimental Physics, Sarov.- Cambridge University Press. — 2005, 167 p.

Loboda P. I., Zvorykin L. O., Kosyuk V. S., Soldkyyiy E. V.

National Technical University of Ukraine «Kiev Polytechnic Institute». Ukraine, Kiev

ANALYSIS OF PROSPECTS OF DEVELOPMENT TITANIUM REINFORCED WITH FIBERS OF TITANIUM DIBORIDE, RESISTANT TO DYNAMIC LOADS

Titanic alloy was prepared by agglomeration of the powders Ti and TiB_2 with the subsequent cold plastic deformation with extent of deformation of 20%. The analysis of structure and phase composition of the prepared material is carried out. For calculation of parameters of interaction of the high-speed drummer with the prepared material Hugoniot's curve for new material is calculated. The analysis of features of phase transitions with dynamic pressure of 5–20 GPa has allowed to estimate limits of stability of Ti alloy + TiB_2 to shock loadings.

Keywords: titanium; titanium diboride; composite alloy; hugoniot's; metallographic structure.

References

- [1] Synthesis of near net shape high density TiB / Ti composite / T. Yamamoto, A. Otsuki// Mater.Sci.Eng.-1997.-V.239-240. – P. 647-651
- [2] Spark plasmas inter in greaction synthesized TiB reinforced titanium matrix composites / F. Haibo, J. Dechang, Z. Yu// Composities, Hart. A. – 2005. - V.36. – P.558-563
- [3] McQueen R.G., Marsh S.P. // In: High-Velocity Impact Phenomena. / Ed.: Kinslow R. New-York/ Academic Press. 1970. - P. 293
- [4] Kutsar A. R., German V. N., Nosova G. I.//DAN SSSR, 1973, T.213, P. 81
- [5] Sikka S. K., Vohra Y. K., Chidambaram R. // Prog. Mater. Sci. 1982, V27/ P.245
- [6] Kutsar A. R., Pavlovskij M. N., Komissarov V. V. // Pis'ma v ZhTF. 1982. T.35. №3, P. 91
- [7] Kisilev A. N., Fal'kov A. A. // Fizika gorenija i vzryva. 1982. T.18, P.105
- [8] G. T. Gray III. // Shock Compression of Condensed Matter/ 1989/ Ed: Schmidt S. C., Johnson J. N., Davison L. W., Els. Sc. Publ. B.V. 1990. P. 407
- [9] LAS L Shock Hugoniot data (Los Alamous Series on Dynamic Material Properties).Editor S. P. Marsh, University of California, Press. Berkeley. Los Angeles – London, 1980, 687 p.
- [10] Beljakova M. Ju., Zhernokletov M. V., Sutulov Ju. N., Trunin R. F. Udarnoe szhatie metallicheskih splavov// Svojtva kondensirovannyh veshhestv pri vysokih davlenijah i temperaturah. VNIJJeF, Arzamas -16 .-1992, P. 187-197
- [11] Trunin R. F. Shock Compression of Condensed Materials - All-Russian Research Institute of Experimental Physics, Sarov. - Cambridge University Press. – 2005, 167 p.