

МЕХАНИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ ПРИ УДАРНОМ НАГРУЖЕНИИ СТРУКТУРНОГО КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ6

Саркеева А.А.

*ИПСМ РАН, г. Уфа, Россия,
aigul-05@mail.ru*

Введение

Титановые сплавы благодаря комплексу полезных свойств, таких как малая плотность, высокая удельная прочность и коррозионная стойкость широко применяются в различных отраслях машиностроения, и особенно в тех, где выигрыш в массе является определяющим. В настоящее время интенсивные исследования проводятся в области изучения механического поведения слоистых композиционных материалов. Значительный интерес к данным материалам обусловлен тем, что в них можно управлять характером распространения трещины, а соответственно и сопротивлением разрушению [1–4].

С механической точки зрения наиболее интересной характеристикой является ударная вязкость, поскольку возможно ее значительное повышение несколькими способами. Одним из таких способов является ориентированное расположение поверхностей соединения относительно распространяющейся трещины. В слоистых материалах выделяют три основных вида расположения поверхностей соединения, обеспечивающих торможение, разветвление фронта трещины и прохождение сквозной трещины [1]. При этом трещина распространяется последовательно через каждый слой, одновременно через все слои и вдоль межслойной границы, соответственно. Повышение ударной вязкости наблюдается только в двух случаях, когда возможно торможение трещины на поверхности соединения при переходе из слоя в слой или локальное разветвление общего фронта трещины на отдельные в каждом слое. Повышение сопротивления ударному разрушению слоистого материала возможно также при определенном сочетании слоев, заметно отличающихся по исходной структуре и свойствам, т.е. за счет создания структурного композита. В работе [5] отмечено, что сочетание прочных и пластичных слоев оказывает тормозящее действие на развитие трещины.

Слоистые материалы получают различными технологическими приемами, в частности сваркой давлением. Сварка давлением применяется при изготовлении многослойных конструкций, с появлением которых связано развитие авиационной и космической техники.

Цель работы – изучить поведение при ударном нагружении структурного композита, полученного сваркой давлением листовых заготовок титанового сплава ВТ6 с пластинчатой и глобулярной структурами.

Материал и методики проведения исследований

В качестве исходного материала использовали листы титанового сплава ВТ6 толщиной ~1,5 мм промышленного проката, имеющие глобулярную структуру. Пластинчатую структуру получали вакуумным отжигом при температуре 1000°C, толщина α -пластин составила $3,3 \pm 0,1$ мкм. Структурный композит, состоящий из чередующихся заготовок с пластинчатой и глобулярной структурами, получали сваркой давлением. Для сравнительных исследований был также изготовлен слоистый материал, состоящий из заготовок с глобулярной структурой. Соединение заготовок, собранных в пакет, выполняли в штамповом блоке, включающем силовые плиты и крепежные элементы. Штамповый блок устанавливали в электрическую вакуумную печь ОКБ-8086. Давление к заготовкам прикладывали с помощью гибкой мембраны, в которую подавали газообразный аргон. Нагрев, выдержку под давлением и охлаждение осуществляли в вакууме 2×10^{-3} Па.

Для проведения механических испытаний на ударный изгиб вырезали стандартные образцы с размерами $10 \times 10 \times 55 \text{ мм}^3$, отличающиеся расположением *U*-образного надреза относительно поверхностей соединения. В образцах с «тормозящим» трещину расположением поверхностей соединения (Т-образец) трещина распространяется последовательно, переходя из слоя в слой, в образцах с «разветвляющим» трещину расположением поверхностей соединения (Р-образец) трещина распространяется одновременно через все слои (рис. 1). Испытания на ударный изгиб проводили при комнатной температуре на копре с падающим грузом Instron CEAST 9350 и записью диаграмм нагружения в координатах «Усилие – перемещение». Разделение полной работы разрушения ударного образца на ее составляющие – работу зарождения трещины и работу распространения трещины осуществлялось по методике, описанной в монографии [6].

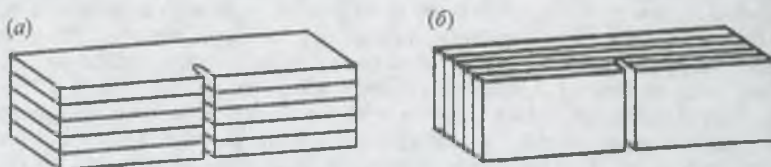


Рис. 1. Образец для испытаний на ударный изгиб с «разветвляющим» (а) и «тормозящим» (б) трещину расположением поверхностей соединения.

Металлографические и фрактографические исследования проводили на растровом электронном микроскопе «TESCAN MIRA3 LMU».

Результаты исследований и их обсуждение

При микроструктурном анализе зоны твердофазного соединения (ТФС) структурного композита были обнаружены единичные микропоры размером менее 1 мкм (рис. 2). Как было показано в работе [7], такие поры не оказывают влияния на свойства слоистого материала.

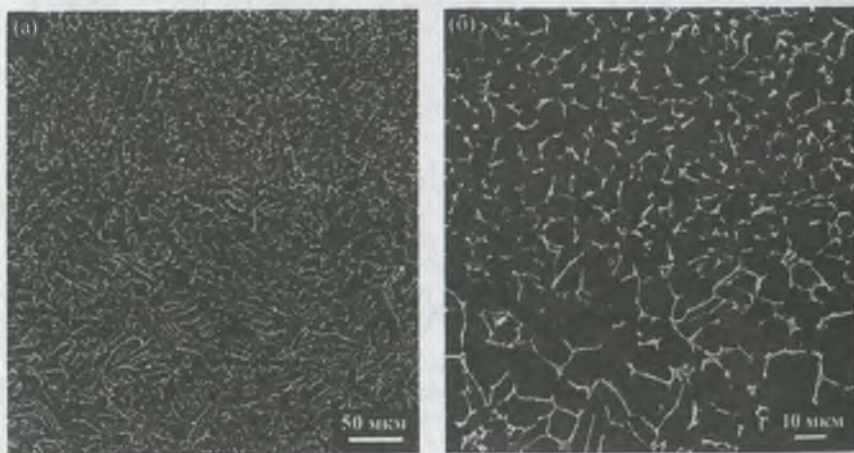


Рис. 2. Микроструктура в зоне ТФС структурного композита при $\times 500$ (а) и $\times 1500$ (б).

Результаты механических испытаний показали, что Р-образцы структурного композита по сравнению с Т-образцами имеют повышенное значение ударной вязкости (табл. 1). Подобные результаты получены и при испытании образцов слоистого материала, состоящего только из заготовок с глобулярной структурой.

При сравнительном исследовании структурного композита и слоистого материала, состоящего из заготовок с глобулярной структурой, выявлено отличие в механическом поведении материалов в случае распространения трещины одновременно через все слои (Р-образец). Образцы структурного композита имеют пониженную ударную вязкость, что связано с более низкой работой распространения трещины в них (табл. 1). Работа зарождения трещины одинакова для данных материалов.

Таблица 1. Ударная вязкость (КСУ), работа зарождения (A_1) и распространения трещины (A_p) в слоистых образцах на ударный изгиб

Слоистый материал	КСУ, МДж/м ²		A_1 , Дж		A_p , Дж	
	Р	Т	Р	Т	Р	Т
МК/МК	0,86±0,04	0,59±0,03	20	23	50	27
КК/МК	0,77±0,002	0,59±0,02	21	22	38	24

Пониженное значение работы распространения трещины в структурном композите связано с использованием в качестве компонента слоистого материала заготовок с пластинчатой структурой. Титановый сплав ВТ6 с пластинчатой структурой имеет на ~29% пониженную работу распространения трещины по сравнению со сплавом с глобулярной структурой.

Фрактографические исследования показали, что образцы разрушаются с образованием вязкого излома ямочного строения. На изломе видны периодические области, имеющие большую шероховатость, что связано, вероятно, с переходом фронта трещины из слоя с одной структурой в слой с другой структурой (рис. 3). Периодичный характер излома более четко выражен в Т-образцах, чем в Р-образцах. Причем на поверхности разрушения Т-образцов в таких областях видны небольшие трещины расслоения.

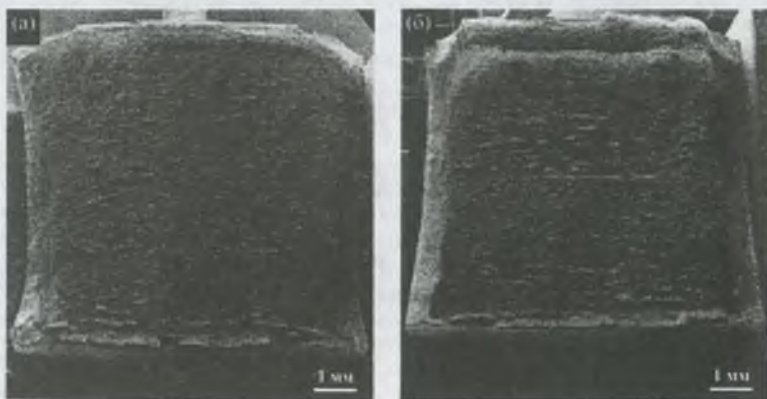


Рис. 3. Изломы Р-образца (а) и Т-образца (б) структурного композита.

Заклучение

Исследовано механическое поведение при ударном нагружении структурного композита, полученного сваркой давлением чередующихся листовых заготовок сплава ВТ6 с пластинчатой и глобулярной структурами. Показано, что повышенными значениями ударной вязкости обладают Р-образцы, что обусловлено более высокой работой распространения трещины в них. Сравнительные исследования структурного композита и слоистого материала, состоящего из заготовок с глобулярной структурой, показали, что использование заготовок с пластинчатой структурой приводит к снижению ударной вязкости Р-образцов, ударная вязкость Т-образцов исследованных материалов одинакова. Пониженное значение ударной вязкости Р-образцов структурного композита связано с более низкой работой распространения трещины в них.

Список литературы

1. Embury J.D., Petch N.J., Wraith A.E., Wright E.S. The fracture of mild steel laminates // Trans. of Metall. S. AIME. – 1967. – V 239. – P. 114-118.
2. Райт Е.С., Левит А.П. В кн.. Композиционные материалы с металлической матрицей. – Т.4. Пер. с англ. М.: Машиностроение, 1978. – С. 49-110.
3. С.М. Cepeda-Jiménez, J.M. Garcia-Infanta, M. Pozuelo, O.A. Ruano, and F. Carreño. Impact toughness improvement of high-strength aluminium alloy by intrinsic and extrinsic fracture mechanisms via hot roll bonding // Scripta Materialia. – 2009. –V 61 – P. 407-410.
4. Ганеева А.А., Круглов А.А., Лутфуллин Р.Я. Разрушение слоистого материала с различным расположением поверхностей соединения // Перспективные материалы. – 2011 – № 12. – С. 92-96.
5. Петухов А.Н. Свободная от недостатков предшественников // Двигатель. – 2005. – №5 (41).
6. Бовина Л.Р. Кинетика разрушения конструкционных материалов. М.: Наука, 1989. – 230 с.
7. Ганеева А.А., Круглов А.А., Лутфуллин Р.Я. Ударная вязкость слоистых полуфабрикатов из титанового сплава ВТ6 // Деформация и разрушение материалов. – 2009. – №12. – С. 36-40.

АНАЛИЗ ПОРИСТОСТИ БОРИДОВ ТИТАНА ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ СВС ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

¹Кулак М.М., ¹Платонов Л.Л., ²Румянцева И.Н.

¹ГНУ "Институт технической акустики НАН Беларуси" г. Витебск,
pl_70@mail.ru

²ГНУ "Физико-технический институт НАН Беларуси" г. Минск

Возрастающим интенсивным нагрузкам на поверхности узлов и механизмов современного машиностроения можно использовать новые материалы с уникальными физико-механическими, электрофизическими, физико-химическими или многофункциональными свойствами. К таким материалам относятся боридные соединения, которые находят все большее применение в качестве материала для износостойких покрытий.

Перспективным направлением, позволяющим достаточно просто синтезировать новые материалы, является самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС). С помощью СВС решаются задачи по созданию новых композиционных материалов (новые марки твердых сплавов, литая керамика и т.д.).

В работе приведены данные металлографических исследований многофазной системы титан-бор. Металлографический анализ проводили с использованием металлографического комплекса на базе микроскопа "МИКРО-200" и растрового электронного микроскопа LEO1455VP фирмы "Карл Цейс" (РЭМ).