

2001-323

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ

На правах рукописи

Асанов Белек Усенович

УДК 621.762

**ЗЕРНОГРАНИЧНЫЕ ПРОЦЕССЫ
И УПРУГИЕ СВОЙСТВА ТУГОПЛАВКИХ
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Специальность 01.04.07 – Физика твердого тела

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Бишкек-2000

22

Работа выполнена в Институте физики НАН Кыргызской Республики

Научный руководитель: Кандидат физико-математических наук

Макаров В.П

Консультант:

Доктор технических наук, член-корр. НАН

Кыргызской Республики Андриевский Р.А

Официальные оппоненты: Доктор физико-математических

наук Кидибаев М.М

Кандидат физико-математических

наук Каныгина О.Н

Ведущая организация: Кыргызский технический университет

Защита состоится 12 января 2001 года в 14 часов на заседании

Специализированного Совета по защите докторских и кандидатских

диссертаций Д.01.00.108 при Институте физики НАН Кыргызской

Республики по адресу: 720071, г.Бишкек, пр.Чуй 265а, Институт физики

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке

НАН Кыргызской Республики

Автореферат разослан 12 декабря 2000 года

Ученый секретарь Специализированного совета

Меренкова Л.К

к.ф.-м.н.



Общая характеристика работы

Актуальность темы

Материалы на основе тугоплавких соединений (карбидов, боридов, нитридов, оксидов и др.) отличаются высокими показателями прочности, твердости, упругих характеристик и находят широкое применение в машиностроении, ракетной технике, ядерной энергетике и т.д.

Перспективным методом получения таких материалов является самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС). Преимуществом метода СВС являются малые энергозатраты, высокая производительность, возможность получения крупногабаритных и градиентных материалов. Аналогичные материалы в виде тонких износостойких покрытий могут быть получены методом ионно-плазменного осаждения.

Боридные и нитридные композиции, получаемые методом СВС и газотермическим осаждением требуют всестороннего исследования их структурных и физико-механических свойств, изучения факторов, влияющих на высокотемпературные прочностные характеристики. Актуальной задачей также является возможность направленного влияния на структуру и свойства получаемых материалов.

Цель работы: Получение и комплексное исследование структуры и физико-механических свойств высокопрочных боридных композиционных материалов на примере системы TiB_2-Fe и TiB_2-BN , изучение высокотемпературного поведения упругих свойств боридных композиций, взаимосвязи их с микроструктурой, исследование закономерностей формирования структуры материалов, полученных методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза и горячего прессования. Изучение физико-механических свойств тонких ионно-плазменных покрытий нитридов переходных металлов, влияния

4

параметров осаждения и содержания азота на упругие характеристики и микроструктуру покрытий.

Научная новизна: Исследовано влияние исходных параметров (дисперсность, морфология, плотность порошков) на физико-механические свойства боридных композиций, полученных методом СВС.

Впервые в широком температурном интервале получены и исследованы упругие характеристики боридных композиций, полученных СВС компактированием. Обнаружен температурный дефект модуля Юнга (начало отклонения модуля Юнга от линейной зависимости) для различных боридных композиций и установлено влияние микроструктуры на образование дефекта модуля. Исследованы упругие характеристики тонких нитридных покрытий, полученных ионно-плазменным осаждением.

Практическая значимость: Получена композиция TiB_2-Fe , обладающая высокими физико-механическими характеристиками, на что имеется соответствующий акт испытаний в условиях производства. Показано, что полученная композиция обладает более высокой температурой начала дефекта модуля упругости, чем чистый TiB_2 , что позволяет использовать его как прочный и износостойкий материал, применяемый при высоких температурах. Композиции TiB_2-BN , полученные горячим прессованием были испытаны на модуль упругости при высоких температурах и примечательной особенностью поведения упругих свойств является отсутствие дефекта модуля при температурах до $1200^\circ C$ и температурная зависимость модуля Юнга носит линейный характер в отличие от TiB_2 , причем угол наклона гораздо меньше чем у TiB_2 . Таким образом, влияние температуры на упругие характеристики не сильно сказывается на упругих свойствах благодаря связке BN и исключает возможность возникновения дефекта модуля во всем исследованном интервале температур.

Впервые в республике собрана установка измерения упругих характеристик для малых образцов в виде круглого диска, которая позволяет неразрушающим методом определять модуль Юнга, коэффициент Пуассона по резонансным частотам собственных колебаний, отработана методика измерения упругих свойств тонких пленок. Новизна данной методики состоит еще также и в том, что теперь не нужно изготавливать образец сложной формы как это требовалось для обычных методов измерения модуля, что представлялось чрезвычайно сложной технологической задачей для хрупких тугоплавких материалов. Уникальная возможность измерения упругих характеристик тонких ионно-плазменных покрытий неразрушающим методом позволяет в ближайшее время применять в производстве различных пленок доступный и простой метод контроля качества.

На защиту выносятся:

- 1) Особенности формирования структуры композиций в системах TiB_2 -Fe и TiB_2 -BN в процессе СВС и горячего прессования.
- 2) Методика измерения упругих характеристик материалов обычной формы и тонких покрытий по собственным резонансным частотам образца.
- 3) Закономерности и особенности температурного изменения упругих характеристик композиций TiB_2 -Fe и TiB_2 -BN.
- 4) Особенности упругих характеристик и структуры нитридных покрытий, полученных ионно-плазменным осаждением.

Апробация работы: Материалы диссертации докладывались на XVI Всесоюзной конференции «Порошковая металлургия» (г. Свердловск, 1989 г); 1-й республиканской конференции молодых ученых (г. Фрунзе, 1990 г); конференции «Порошковая металлургия» (г. Лондон, 1990 г); Московской международной конференции по композитам (г. Москва, 1990 г); научно-практической конференции «Наука и наукоемкие горные технологии»

(г.Бишкек, 2000 г); Казахстанской конференции «Физика твердого тела» (г.Актюбинск, 2000 г)

Публикации: Основное содержание работы опубликовано в 9 печатных работах.

Объем работы: Диссертация состоит из введения, 6 глав, Приложения и перечня литературы. Содержит 100 страниц, включая списки литературы (113 наименований), 22 рисунка и 15 таблиц.

Основное содержание работы.

Во введении раскрывается и обосновывается актуальность темы диссертации, излагается цель, научная и практическая ценность работы, а также положения, выносимые на защиту.

В первой главе приводятся сведения о боридах тугоплавких соединений, их структуре и свойствах. Показано, что композиция TiB_2 -Fe является системой эвтектического типа с температурой эвтектики $\sim 1340^\circ C$. Данный композит в спеченном состоянии имеет достаточно высокие механические свойства (модуль упругости $E = 320$ ГПа, предел прочности на изгиб $\sigma_{\text{изг}} = 1000$ МПа, 92 HRA). Одним из методов получения таких материалов может быть самораспространяющийся высокотемпературный синтез. Приводятся данные по получению СВС-боридов и их некоторые характеристики. Дан обзор работ, проведенных в ИСМ РАН (А.Г.Мержанов, И.П.Боровинок а я, А.С.Щтейнберг и сотр.). Следующая часть посвящена исследованиям упругости тугоплавких материалов, высокотемпературным испытаниям модуля упругости, температуре хрупко-вязкого перехода, механизмам разрушений. Работы по СВС компактированию в настоящее время проводятся в различных научных центрах и рассматривается как перспективный способ получения высокоплотных, прочных тугоплавких материалов. В особенности представляется весьма интересным изучение физико-механических

свойств таких сплавов как диборид титана с различными связками, позволяющие улучшать прочностные и упругие характеристики диборидов. Во-первых, упругие свойства боридов в сравнении с карбидами или нитридами мало исследовались в литературе, тогда как установлено, что TiB_2 обладает одним из самым высоким модулем упругости, уступая лишь некоторым карбидам (WC , TaC). В связи с этим, изучение температурного поведения упругих свойств композиций TiB_2-Fe , TiB_2-BN представляет практический интерес для дальнейшего применения. В конце главы обоснована постановка задачи.

Вторая глава кратко раскрывает суть метода СВС и установки для получения и исследования свойств сплавов TiB_2-Fe . Представлена схема, созданной в Институте физики АН Республики Кыргызстан установки СВС-компактирования. В качестве нагружающего устройства использовался пресс типа МС-2000 (усилие 200 тонн). Особенностью наших опытов по СВС-компактированию было использование обогревающей смеси ("шубы"), состоящей из порошков титана и углерода. Исходный брикет - смесь порошков титана и сплава железо-бор помещался в легкосгораемый контейнер (в "шубу"), который находился в пресс-форме. Процесс горения инициировался пропусканием тока от источника питания через молибденовую спираль, реагирование смеси происходило в атмосфере аргона. После прохождения волны горения осуществлялась горячая обработка продуктов синтеза. Температурный режим в установке для СВС-компактирования фиксировался с помощью вольфрам-ренийных термопар, показания которых отображались на шлейфовом осциллографе.

Микроструктура и характер разрушений сплавов исследовались на растровом и просвечивающем электронных микроскопах. Кроме того, изучались химический состав, плотность, твердость композитов; проводился рентгенофазовый анализ состава. Количественные и качественные оценки результатов проводились по известным методикам.

В третьей главе описаны закономерности структурообразования и уплотнения порошковых терморреагирующих смесей в системах Ti-B и Ti-B-Fe. Всесторонне рассмотрены условия сохранения продуктами термосинтеза формы и размеров исходного титанового порошка. Этот результат интересен как с точки зрения кинетики структурообразования, так и получения различных форм частиц конечного продукта.

В работе определены условия формирования различных морфологических типов кристаллов диборида титана. Рядом исследователей ранее было показано, что зерна TiB_2 могут быть как ограниченными, так и округлыми. Они утверждали, что округлая форма кристаллов TiB_2 является неравновесной и может наблюдаться только в момент зародышеобразования (при закалке фронта горения), а также в конечном продукте в очень малых количествах. Нами показаны возможности получения образцов, полностью состоящих из округлых кристаллитов, и определены интервалы скоростей реагирования, при которых образуются зерна той или иной морфологии. Если скорость выше 0,5-0,8 см/с, то кристаллы ограниченные, если ниже - округлые.

Получены результаты по уплотнению порошковых смесей в результате СВС без приложения внешнего давления. При горении системы Ti-B плотность продуктов реагирования растет с увеличением размера одного из компонентов, что отличается от уплотнения при спекании традиционными методами порошковой металлургии. Это связано с процессами плавления и растекания, предшествующих реагированию. Плотность в системе Ti-сплав железо-бор изменяется не монотонно.

Для образцов с исходной дисперсностью сплава железо-бор менее 60 мкм наблюдается достаточно высокое уплотнение, которое предопределяется легкостью протекания диффузии бора в титан при высокой плотности.

Таблица 1. Влияние зернистости исходных компонентов на свойства композиций TiB_2 -Fe

Размер частиц, мкм		Плотность, г/см ³		Пористость, %		прочность на изгиб, ГПа	HRA	содержание Fe в сплаве, об. %
Ti	Ферробор	до горячего прессования (после реагирования)	после горячего прессования	из анализа шлифов	расчетная			
0-60	0-60	3,74	5,05	13,2	12,5	830	89	39
	60-100	2,6	4,9	17	9,4	500	90	30
	100-160	2,85	5,0	9,7	10,5	1130	87	36
60-100	0-60	4,0	4,95	11,8	9,9	960	89	36
	60-100	2,35	4,9	10,3	10,8	620	90	32
	100-160	2,95	4,9	4,3	12,5	1000	90	35
100-160	0-60	4,4	5,1	4,1	11,7	1200	85	41
	60-100	2,5	5,0	5,1	5,6	850	92	26
	100-160	2,95	4,95	5,8	13	830	88	37

межчастичных контактов. Увеличение размеров частиц железо-бор до 60-100 мкм приводит к уменьшению плотности контактов, что затрудняет процесс диффузии и уплотнения (30%). Дальнейший рост дисперсности боросодержащего компонента приводит к тому, что реагирование не происходит без предварительного оплавления и растекания компонентов; уплотнение при этом составляло 80%. Хотя в результате приложения давления разница в плотностях практически отсутствует, процессы уплотнения при синтезе сильно влияют на однородность сплавов, размеры и форму компонентов, что определяет их физико-механические свойства (Табл.1).

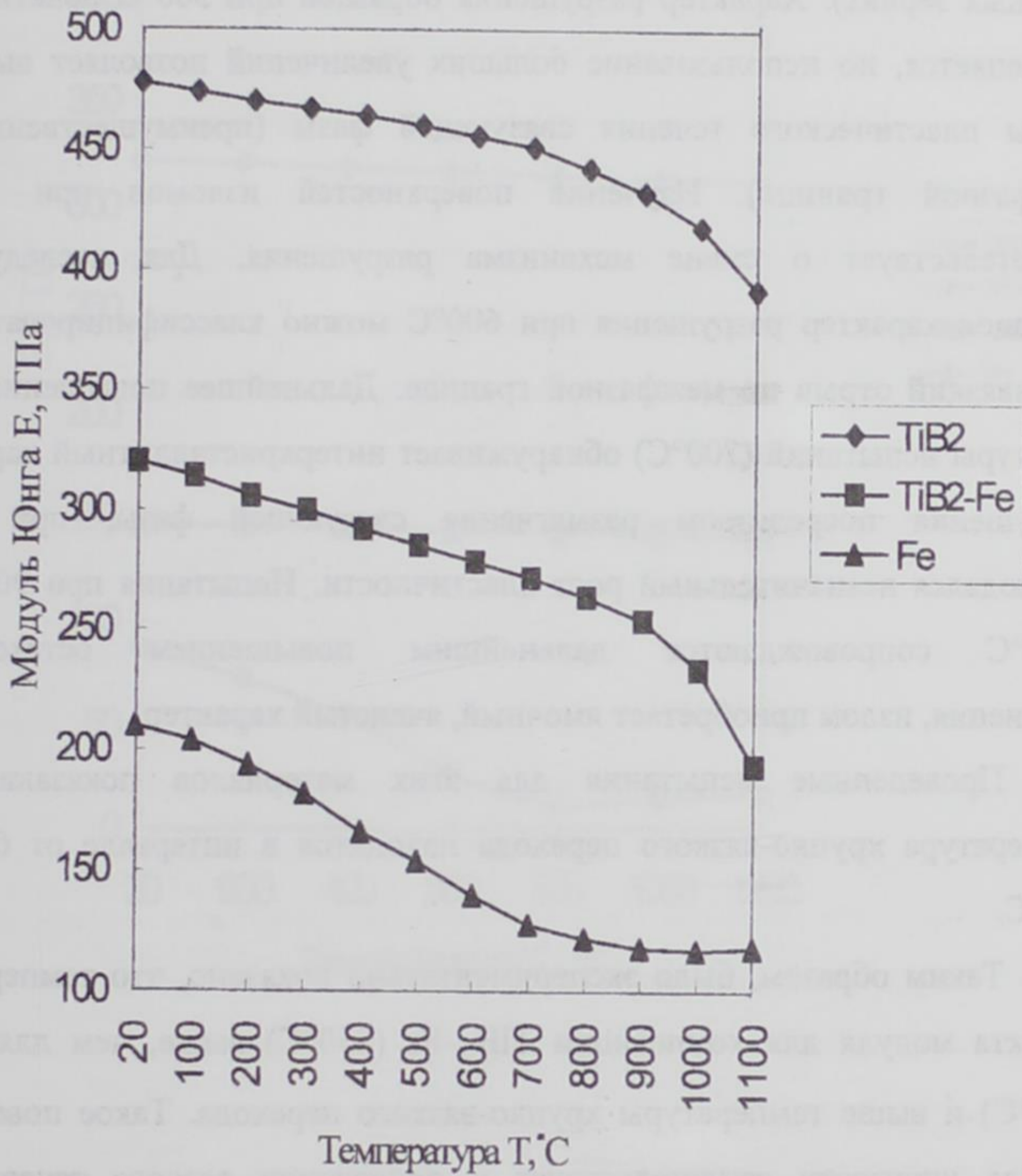
В четвертой главе представлены результаты высокотемпературных испытаний модуля упругости композиций TiB_2 -Fe, TiB_2 -BN и закономерности разрушений данных сплавов.

На Рис.1 представлены результаты температурных измерений модуля Юнга для композиций TiB_2 -Fe, TiB_2 и железа в интервале от 0 до 1100°С. Обратим внимание на то, что значение E для композиции TiB_2 -Fe при комнатной температуры, равной 320 ГПа неплохо совпадает с рассчитанным из аддитивных соображений (E для TiB_2 – 520 ГПа, E для Fe – 220 ГПа) с учетом пористости.

Как видно из графика, температурное изменение модуля Юнга носит линейный характер до определенной температуры, после которой обнаруживается отклонение от линейности, так называемый «дефект модуля Юнга». Температура начала дефекта модуля для исследуемой композиции TiB_2 -Fe была равна 850°С, тогда как для чистого TiB_2 дефект модуля начинался при температуре 700°С.

Анализ диаграмм деформаций показал, что остаточная пластическая деформация наблюдается при 700°С для испытания на изгиб и при 600°С для испытаний на сжатие (при 600°С - на изгиб, и 500°С - на сжатие - разрушение образцов происходило в упругой области деформаций). Таким

Рис.1 Температурная зависимость Модуля Юнга композиций TiB_2 -Fe



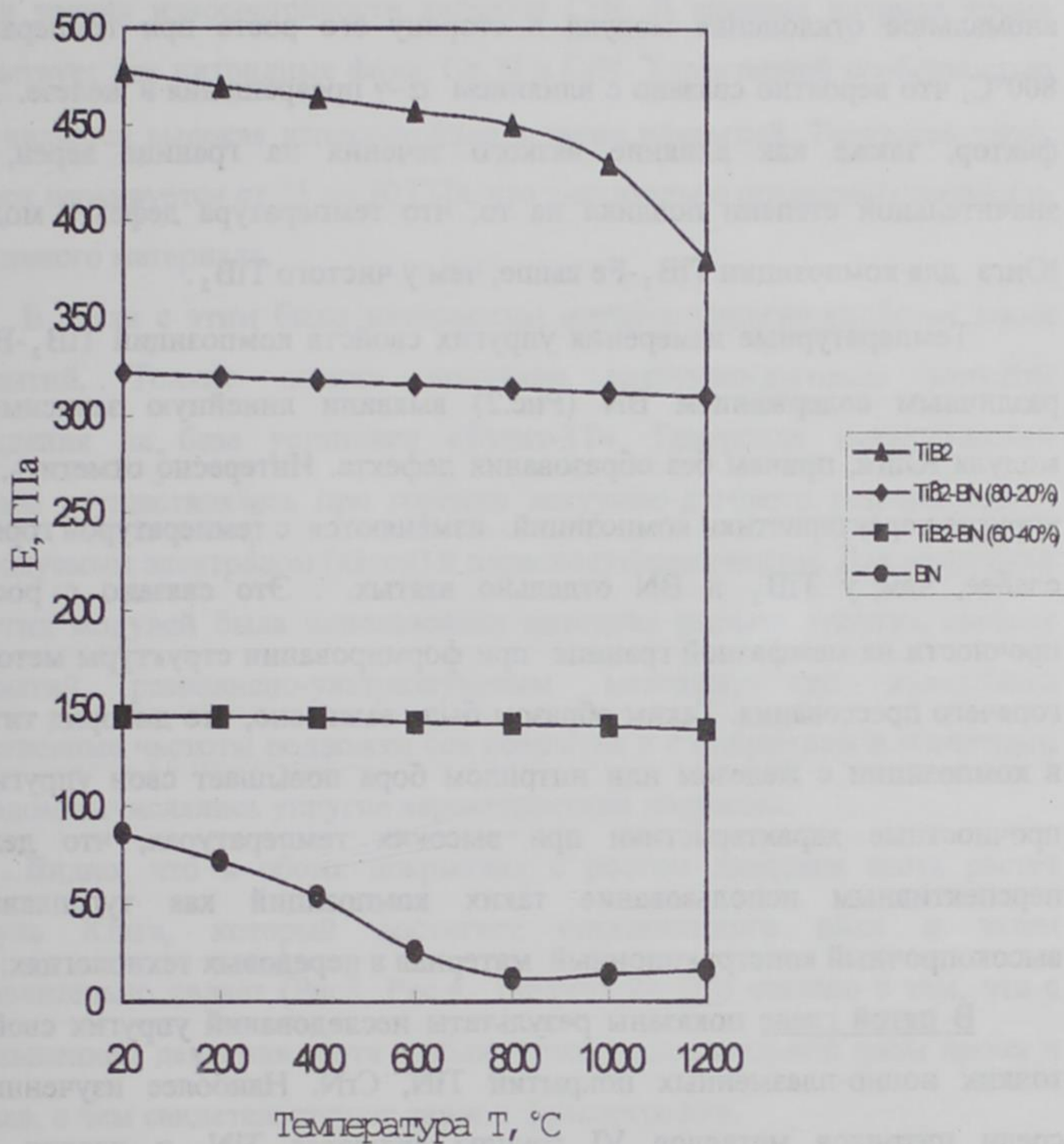
образом, величина T_{xp} для испытаний композиции TiB_2 -Fe на изгиб составляет около $700^\circ C$, а для испытаний на сжатие около $600^\circ C$; такое различие для хрупких материалов связано с влиянием вида напряженного состояния и распространения трещин. Исследование характера разрушения сплавов TiB_2 -Fe после испытаний на изгиб при различных температурах показала, что при комнатной температуре излом носит смешанный характер: интер- и транскристаллитный (последний проявляется на крупных зернах). Характер разрушения образцов при $500^\circ C$ практически не меняется, но использование больших увеличений позволяет выявить следы пластического течения связующей фазы (преимущественно по межфазной границе). Изучение поверхностей изломов при $600^\circ C$ свидетельствует о смене механизма разрушения. Для исследуемых образцов характер разрушения при $600^\circ C$ можно классифицировать как квазивязкий отрыв по межфазной границе. Дальнейшее повышение температуры испытаний ($700^\circ C$) обнаруживает интеркристаллитный характер разрушения посредством размягчения связующей фазы, при этом наблюдался незначительный рост пластичности. Испытания при $900^\circ C$ и $1000^\circ C$ сопровождаются дальнейшим повышением остаточного удлинения, излом приобретает ямочный, ячеистый характер.

Проведенные испытания для этих материалов показали, что температура хрупко-вязкого перехода находится в интервале от 600 до $700^\circ C$.

Таким образом, было экспериментально показано, что температура дефекта модуля для композиции TiB_2 -Fe ($850^\circ C$) выше, чем для TiB_2 ($700^\circ C$) и выше температуры хрупко-вязкого перехода. Такое поведение модуля упругости свидетельствует о проявлении вязкого течения по границам зерен.

В исследованном интервале температур испытаний электронномикроскопический фрактографический анализ не выявил

Рис.2 Температурная зависимость E для
композиции TiB_2-BN



особых изменений в характере изломов диборидной фазы, все особенности разрушения обусловлены эволюцией поведения связующей фазы и межфазных границ.

При исследовании упругих модулей чистого железа обнаружили аномальное отклонение модуля в сторону его роста при температуре 800°C , что вероятно связано с влиянием α - γ превращения в железе. Этот фактор, также как влияние вязкого течения на границе зерен, в значительной степени повлиял на то, что температура дефекта модуля Юнга для композиции TiB_2 -Fe выше, чем у чистого TiB_2 .

Температурные измерения упругих свойств композиций TiB_2 -BN с различным содержанием BN (Рис.2) выявили линейную зависимость модуля Юнга, причем без образования дефекта. Интересно отметить, что упругие характеристики композиций изменяются с температурой гораздо слабее, чем у TiB_2 и BN отдельно взятых. Это связано с ростом прочности на межфазной границе при формировании структуры методом горячего прессования. Таким образом было выявлено, что диборид титана в композиции с железом или нитридом бора повышает свои упругие и прочностные характеристики при высоких температурах, что делает перспективным использование таких композиций как тугоплавкий, высокопрочный конструкционный материал в передовых технологиях.

В пятой главе показаны результаты исследований упругих свойств тонких ионно-плазменных покрытий TiN, CrN. Наиболее изученными среди нитридов металлов VI группы являются TiN, и пленки TiN исследованы довольно подробно. Однако упругие свойства таких покрытий почти не исследовались. Область гомогенности нитрида титана довольно широкая и поэтому свойства TiN сильно зависят от содержания азота в нитриде. При высокой скорости осаждения может быть получена очень мелкозернистая и следовательно очень искаженная структура, в то время как при низких скоростях осаждения формируется чешуйчатая

структура. Микротвердость пленок нитрида титана изменяется в широких пределах (20-40 ГПа) и большая твердость конденсированного TiN является следствием высокого уровня внутренних напряжений.

Среди нитридов металлов VI группы наиболее исследованными с точки зрения износостойкости является CrN. В системе нитрида хрома существует две нитридные фазы: Cr₂N и CrN. Характерной особенностью CrN является высокая износостойкость таких покрытий. Твердость таких пленок варьируется от 25 до 30 ГПа, что значительно превышает твердость массивного материала.

В связи с этим было интересным изучить упругие свойства таких покрытий. Тонкие пленки получали вакуумно-дуговым методом осаждения на базе установки «Булат-3Т». Генерация металлической плазмы осуществлялась при горении вакуумно-дугового разряда между расходующим электродом (катод) и нерасходующим анодом. Для измерения упругих модулей была использована методика расчета упругих свойств покрытий резонансно-ультразвуковым методом, где измерялись собственные частоты подложки без покрытия и с покрытием и расчетным методом вычислялись упругие характеристики покрытия.

Видно, что в обоих покрытиях с ростом давления азота растет модуль Юнга, который достигает определенного пика и затем незначительно падает (Рис.3, Рис.4, Таблица 2). Это связано с тем, что с уменьшением давления азота наблюдается рост капельной фазы хрома и титана, о чем свидетельствуют данные фрактографии.

Причина же возникновения максимального пика упругости для данных конденсированных сред пока до конца не ясна, однако есть предположение, что в случае покрытий из нитрида титана при этом давлении азота химический состав пленок приближается к стехиометрическому и дальнейшее повышение давления приводит к пересыщению азотом. Этот феномен является темой дальнейшего,

отдельного и подробного изучения.

Таким образом, получены нитридные покрытия с улучшенными упругими характеристиками а полученные данные свидетельствуют о том, что путем вариации давления азота можно достичь оптимальных режимов осаждения.

Таблица 2. Модуль Юнга покрытий в зависимости от давления азота

Фазовый состав	Давление азота (Па)	Размер зерна, (мкм)	Толщина, (мкм)	Модуль Юнга E (ГПа)
CrN	$1,6 \times 10^{-1}$	0,9-1,2	4	240
CrN	$1,2 \times 10^{-1}$	0,8-1,1	4,2	260
Cr ₂ N+CrN	$0,7 \times 10^{-1}$	0,8-1,4	4	225
Cr ₂ N	$0,2 \times 10^{-1}$	0,7-1,2	4,5	180
TiN	2×10^{-1}	0,7-1	3	280
	$1,5 \times 10^{-1}$	0,75-1,5	2,8	300
	$0,9 \times 10^{-1}$	0,6-0,9	3,1	250
	$0,5 \times 10^{-1}$	0,7-1	2,9	190

Рис.3 Модуль Юнга E для пленок TiN

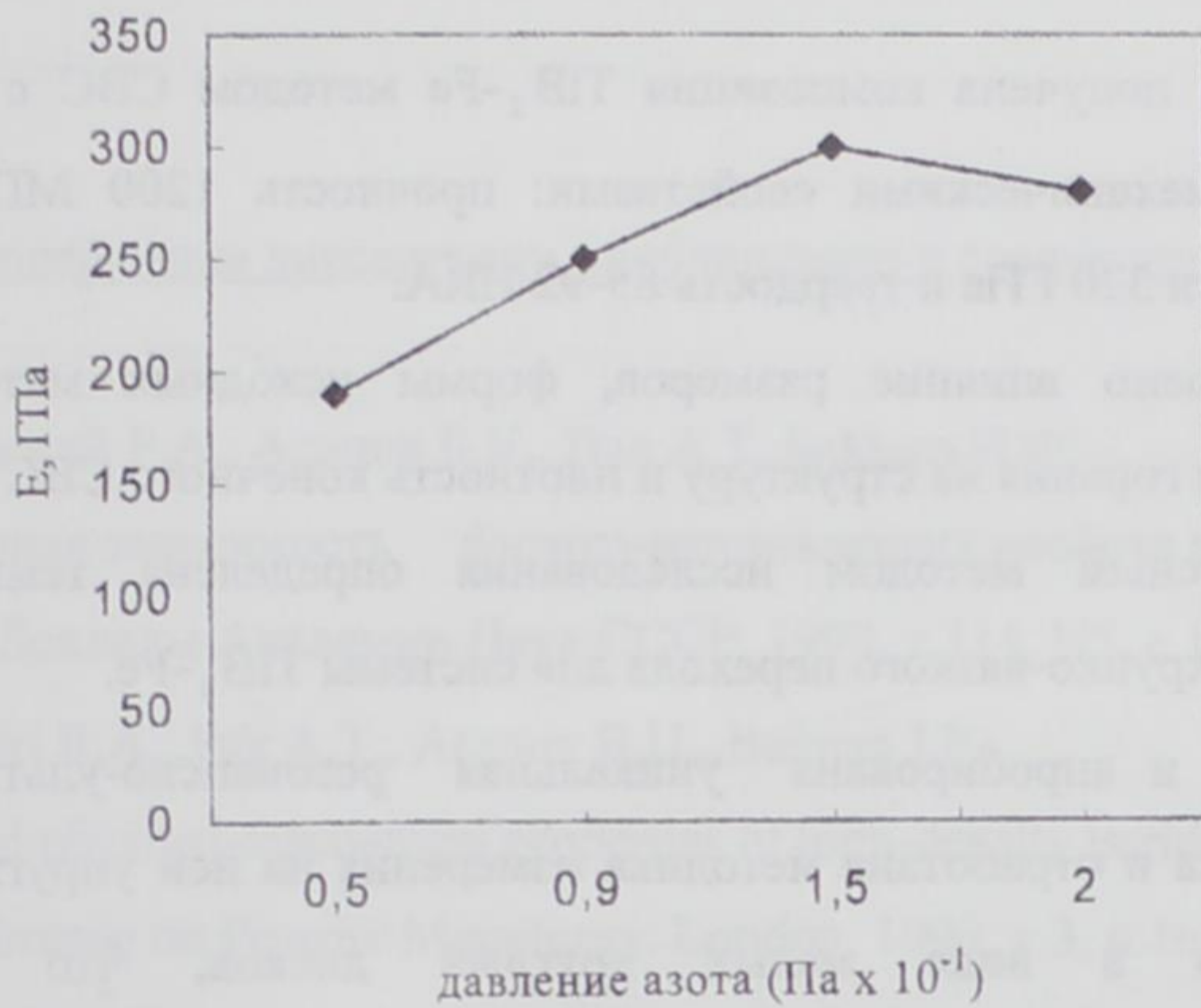
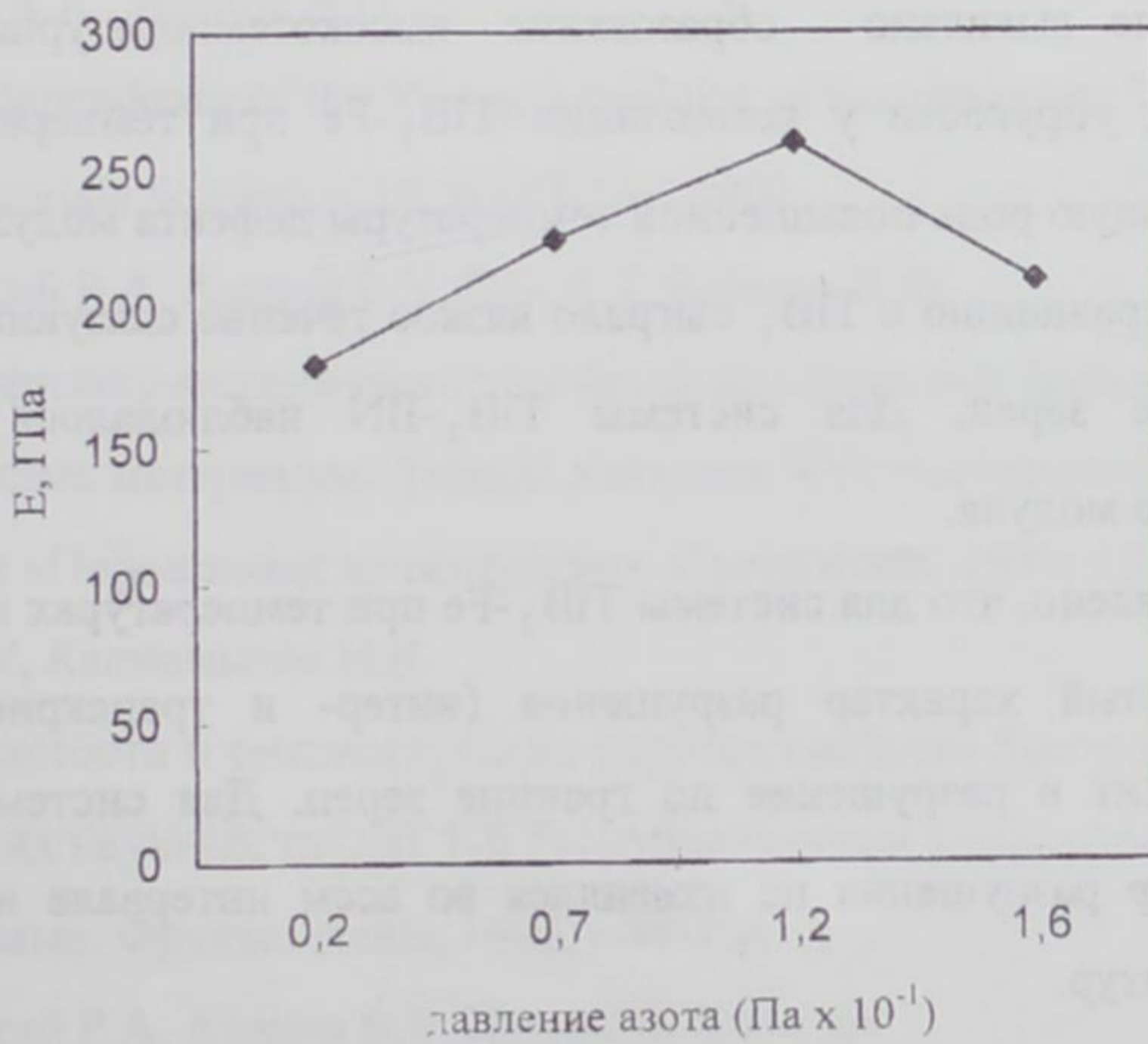


Рис.4 Модуль Юнга для пленок CrN



Выводы

1. Впервые получена композиция $\text{TiB}_2\text{-Fe}$ методом СВС с высокими физико-механическими свойствами: прочность 1200 МПа, модуль упругости 320 ГПа и твердость 85-92 НРА.
2. Установлено влияние размеров, формы исходных материалов и скорости горения на структуру и плотность конечного СВС продукта.
3. Комплексным методом исследования определена температурная область хрупко-вязкого перехода для системы $\text{TiB}_2\text{-Fe}$.
4. Собрана и апробирована уникальная резонансно-ультразвуковая установка и отработана методика измерения на ней упругих свойств образцов в виде малых круглых дисков, что позволяет неразрушающим методом измерять модуль Юнга по резонансным частотам собственных колебаний. Отработана методика измерения модуля Юнга для тонких покрытий.
5. Впервые выявлено образование высокотемпературного дефекта модуля упругости у композиции $\text{TiB}_2\text{-Fe}$ при температуре 850°C . Решающую роль повышенной температуры дефекта модуля для $\text{TiB}_2\text{-Fe}$ по сравнению с TiB_2 сыграло вязкое течение связующей фазы по границе зерен. Для системы $\text{TiB}_2\text{-BN}$ наблюдалось отсутствие дефекта модуля.
6. Установлено, что для системы $\text{TiB}_2\text{-Fe}$ при температурах выше 600°C , смешанный характер разрушения (интер- и транскристаллитный) переходит в разрушение по границе зерен. Для системы $\text{TiB}_2\text{-BN}$ характер разрушения не изменялся во всем интервале исследуемых температур.
7. Выявлена зависимость механических свойств нитридных покрытий от режимов напыления. Отработаны оптимальные режимы напыления

нитридных пленок, при которых физико-механические свойства достигают максимального значения.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Андриевский Р.А., Асанов Б.У., Пак А.Т, Байман И.Ф
Температурная зависимость физико-механических свойств композиции TiB_2 -Fe. // Доклады Академии Наук СССР, 1990, т.314, N5, с.1130-1132.
2. Andrievski R.A., Pak A.T., Asanov B.U., Baiman I.F.
Structure and physical-mechanical properties of high-density boride materials
World Conference on Powder Metallurgy. London, 1990, v.3, p.163-165.
3. Андриевский Р.А., Асанов Б.У., Байман И.Ф. Композиционные материалы на основе диборида титана. // Тезисы докл. 1 Межд. конф. "Композиционные материалы". М., 1990. с.75.
4. Andrievski R.A., Asanov B.U
Temperature dependence of the Young's modulus of the composite TiB_2 -Fe.
Journal of Materials Science, v.10, p.147-148, 1990
5. Андриевский Р.А, Асанов Б.У, Пак А.Т, Байман И.Ф
Структура и физико-механические свойства высокоплотных боридных композиционных материалов. Тезисы докладов XVI Всесоюзной конференции «Порошковая металлургия». Свердловск, 1989, т.3 с.16
6. Асанов Б.У, Касмамытов Н.К
Влияние пористости и температуры на упругие свойства быстрорежущей стали. Сборник научных трудов 1-й Республиканской конференции молодых ученых. Фрунзе: Илим, 1990, с.99-100
7. Андриевский Р.А, Асанов Б.У, Петренко Б.Я и др.
Способ получения порошка карбида вольфрама. – Авторское свидетельство на изобретение No 1450231, Москва, 1986

8. Макаров В.П, Асанов Б.У

Физико-механические свойства композитов на основе диборида титана при высоких температурах. Научно-практическая конференция «Наука и наукоемкие технологии» Бишкек, с.71, 2000

9. Макаров В.П, Асанов Б.У

Физико-механические свойства композитов на основе диборида титана при высоких температурах. VI Казахстанская конференция по Физике твердого тела, Актюбинск, с.54, 2000

Аннотация

Өз алдынча таралуучу жогорку температуралык синтез жана ысыкныктоо ыкмасы менен алынган TiB_2 -Fe жана TiB_2 -BN композицияларынын структураларынын калыптанышынын өзгөчөлүктөрү, ошондой эле бул композициялардын серпилгичтүүлүк касиеттеринин температуралык өзгөрүүлөрүнүн закон ченемдүүлүктөрү жана өзгөчөлүктөрү көрсөтүлгөн.

Иондук плазмалык иштетүү жолу менен алынган нитриддик катмарлардын серпилгичтүүлүк касиеттери жана структуралары боюнча изилдөөлөрдүн натыйжалары сунуш кылынат.

Коюлган маселелерди чечүүдө электрондук микроскопиялык жана рентгенструктуралык анализдер, ошондой эле өркүндөтүлгөн Юнгдун модулу ченөө ыкмасы колдонулган.

Аннотация

Представлены особенности формирования структуры композиций TiB_2 -Fe и TiB_2 -BN, полученных методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза и горячего прессования, исследованы закономерности и особенности температурного изменения упругих характеристик этих композиций.

Представлены данные исследований упругих характеристик и структуры нитридных покрытий, полученных ионно-плазменным осаждением.

Для решения поставленных задач были использованы методы электронномикроскопического и рентгенофазового анализов, а также усовершенствованный неразрушающий метод измерения упругих свойств.

ABSTRACT

Various features of structural forming of composites TiB_2 -Fe and TiB_2 -BN obtained by Self-propagating High-temperature Synthesis and hot-pressing are studied as well as regularity and features of temperature dependence of elastic characteristics for these composites.

Data of elastic modulus and microstructure for the thin films of nitrides obtained by ion-plasmous sputtering is described in this work.

Electronic microscopy and X-ray spectroscopy as well as improved and undestroying method for Young's modulus measurement are used for solution of above mentioned objectives.

Подписано к печати 05.12.00. Формат 60x84.

Печать офсетная. Объем 1 п.л

Тираж 100 экз. Заказ 112

Издательство Славянского университета
Отпечатано в типографии КРСУ, г.Бишкек, ул. Шопокова, 68