

i, j – порядковые номера расчетных сечений в направлении осей x, z соответственно;
 ω – прогибы пластины в расчетных точках, определяемые экспериментально по данным интерферометрии.

Зависимости (3 - 5) позволяют полностью определить распределение составляющих напряжений $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ на передней поверхности СРП (т.е. в опасной с точки зрения прочности зоне при изгибе) на основании данных о распределении по ней прогибов $\omega_{(x,z)}$. Расчеты распределения напряжений $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}, \sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ в СРП при различных схемах их нагружения показывают, что для режущих пластин наиболее опасными с точки зрения прочности чаще всего являются напряжения растяжения σ_1 , действующие вдоль главной режущей кромки СРП. В подтверждение этим выводам в работе [9] были изготовлены многокомпонентные пластины, исключаящие появление напряжений растяжения и обеспечивающие получение равнопрочных пластин. Для СРП круглой формы, помимо того, опасными являются напряжения растяжения, возникающие на контуре центрального отверстия (см. рис. 4).

На основании проведенных исследований и в результате анализа схем деформирования и нагружения СРП предложены оригинальные, защищенные патентами на изобретения конструкции сборного режущего инструмента, в которых реализованы рациональные схемы нагружения СРП, позволяющие увеличить допускаемые при резании толщины среза на 18÷25%.

Литература.

1. Патент на изобретение RUS 2235622 Российская Федерация, МПК 7 В 23 В 27/16. Сборный инструмент / Некрасов Ю. И., Новоселов В. В., Некрасов Р. Ю., Проскуряков А. Н.; заявитель и патентообладатель Тюм. гос. нефтегаз. ун-т. - №2003110951 заявл. 16.04.2003, опубл. 10.09.2004, Бюл. №25. - 14 с.: ил.
2. Некрасов Р.Ю. Моделирование технологических переходов обработки на станках с ЧПУ с использованием ПЭВМ / Р.Ю. Некрасов, Р.Н. Раемгулов // Информационные технологии в образовательном процессе: Матер. обл. науч.-метод. конф. - Тюмень: Изд-во «Вектор бук», 2002. – С. 194 - 196.
3. Тахман, С.И. Закономерности процесса изнашивания и основы прогноза износостойкости инструментов из стандартных твердых сплавов. Механика и физика процессов на поверхности и в контакте твердых тел, деталей технологического и энергетического оборудования. Тахман С.И. 2010. № 3. С. 64-72.
4. Шаламов В.Г. Математическое моделирование при резании металлов: учебное пособие. – Челябинск: Изд-во ЮжУрГУ, 2007.
5. Янюшкин А.С., Сафонов С.О., Лобанов Д.В. и др. Совершенствование технологических процессов машиностроительных производств. – Братск: Изд-во БрГУ, 2006. – 302 с
6. Felten K. – Entwicklung einer numerisch gesteuerten NC – Drehfertigungszelle – "Technisches Zentralblatt für praktische Metalbearbeitung". Ig. 71, № 10, p. 8 - 11.
7. Chao B.T., Trigger K.I.–Cutting temperatures and metalcutting of the ASME. – "Journal of Engineering for Industry", 1959, v.81, Ser.B., № 2, p. 861 - 866.
8. Reissner E. On the theory of bending of elastic plates. — J. of Math, and Phys., 1944, 23 (184-191).
9. Retyunski O.Yu. Method of making preforms for composite reversible cutting plates // Applied Mechanics and Materials, Vol. 379 (2013), pp. 24-27.

МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Si-Ti

Е.А. Петрикова, аспирант, А.Д. Тересов, вед. электроник, Ю.Ф. Иванов, д.ф.-м.н., проф.

Институт сильноточной электроники СО РАН

634055, г. Томск, пр. Академический 2/3, тел. (3822)-49-17-13

E-mail: elizmarkova@yahoo.com

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

634050, г. Томск пр. Ленина 30, тел. (3822)-42-72-42

E-mail: yufi55@mail.ru

Введение

Силициды достаточно широко используются в различных областях промышленности для реализации специальных технологических процессов или создания изделий с особыми свойствами [1]. Наибольшее распространение сегодня получили силициды тугоплавких металлов (титана, молибдена, вольфрама) [2]. Материалы на их основе составляют достойную конкуренцию специальным спла-

вам и керамическим материалам. Это обусловлено рядом преимуществ силицидных материалов: высокой жаростойкостью и термической стабильностью, сохранением механических характеристик в широком интервале температур, сравнительно высокой проводимостью, высокой устойчивостью при работе в окисляющих средах, а также к воздействию химических реактивов. Весьма часто силицированию подвергают рабочую поверхность деталей, формируя различного вида покрытия [3]. Широко распространено получение силицидов при реакционной диффузии кремния в металлическую подложку [4, 5].

Целью настоящей работы является разработка метода силицирования титана, основанного на плавлении системы пленка/подложка высокоинтенсивным импульсным электронным пучком.

Материал и методика исследования

В качестве материала подложки использовали технически чистый титан марки ВТ1-0. Пленку кремния толщиной $\sim 1,0$ мкм наносили на поверхность образцов ВТ1-0 методом распыления кремния пучком электронов (установка «СОЛЮ», разработанная в ИСЭ СО РАН). Кремниевую мишень предварительно нагревали до температуры $(600-800)^\circ\text{C}$ с помощью импульсного электронного пучка в частотно-импульсном режиме (энергии в импульсе – $0,5$ Дж/см²; длительность импульсов – 50 мкс; частота следования импульсов – 5 Гц). Распыляемая мишень (кремний) располагалась на расстоянии ~ 5 см от поверхности подложки (ВТ1-0). Распыление кремния осуществляли при следующих параметрах электронного пучка: плотность энергии в импульсе – 40 Дж/см²; длительность импульсов – 200 мкс; частота следования импульсов – 1 Гц. При данных параметрах скорость осаждения кремниевой плёнки на поверхности образцов ~ 3 нм/имп. После осаждения кремниевой плёнки образцы с помощью шагового двигателя перемещали в область воздействия импульсного электронного пучка и облучали в высокоинтенсивном режиме ($(15-40)$ Дж/см²; $(50-200)$ мкс; $(0,3-1)$ Гц; $(1-20)$ имп.), что соответствовало жидкофазному легированию ВТ1-0 атомами кремния. Исследование структуры легированного слоя осуществляли методами оптической и сканирующей электронной микроскопии, дифракции рентгеновских лучей; механические свойства характеризовали, определяя твердость поверхностного слоя; физические – определяя модуль Юнга; трибологические – определяя коэффициент трения и скорость изнашивания.

Результаты исследования и их обсуждение

Методами сканирующей электронной микроскопии установлено, что электронно-пучковая обработка системы пленка (кремний) / подложка (ВТ1-0) приводит к образованию легированного слоя, концентрация кремния в котором изменяется в пределах от 15 до $7,5$ вес.% при увеличении плотности энергии пучка электронов от 20 до 40 Дж/см² (200 мкс, 3 имп., $0,3$ Гц). При оптимальном режиме облучения (20 Дж/см², 200 мкс, 3 имп., $0,3$ Гц) формируется многофазная субмикронаноразмерная композитная структура (рис. 1), основной фазой (58 мас. %) поверхностного слоя которой является высокотемпературный ($T_{пл} = 2400$ К) силицид титана состава Ti_5Si_3 (рис. 2). Относительное содержание данной фазы изменяется немонотонным образом, достигая максимально значения (58 мас. %) при плотности энергии пучка электронов 20 Дж/см² и снижаясь до 33 мас. % при 40 Дж/см² (рис. 3, а).

Твердость поверхностного слоя определяли в интервале нагрузок на индентер ($8 \dots 500$) мН. Твердость формируемого слоя в $\sim 2,5$ раза превышает твердость основы. Результаты выполненных исследований представлены на рис. 3, б. Отчетливо видно, что максимальная твердость фиксируется при минимальных нагрузках ($8 \dots 50$) мН и превышает твердость исходного сплава в $(4 \dots 6)$ раз. При этом с увеличением плотности энергии пучка электронов твердость поверхностного слоя увеличивается. По мере увеличения нагрузки на индентер (удаления от поверхности облучения) твердость монотонно снижается.

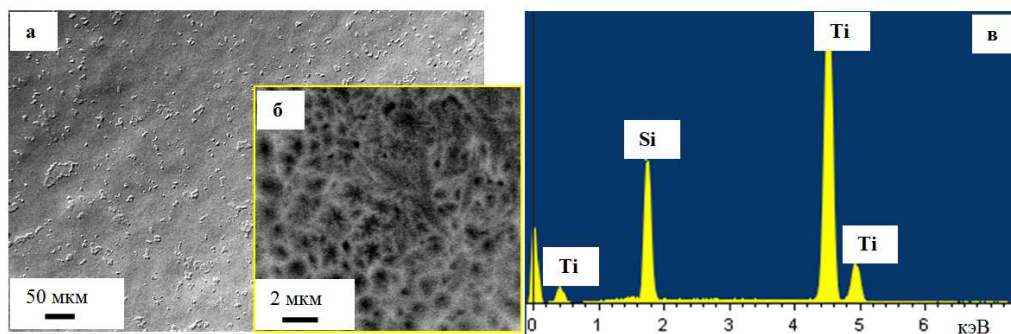


Рис. 1. Структура поверхности (а, б) и результаты микрорентгеноспектрального анализа (в) образцов системы Si/Ti, обработанных электронным пучком (20 Дж/см², 200 мкс, 3 имп., $0,3$ Гц). Сканирующая электронная микроскопия

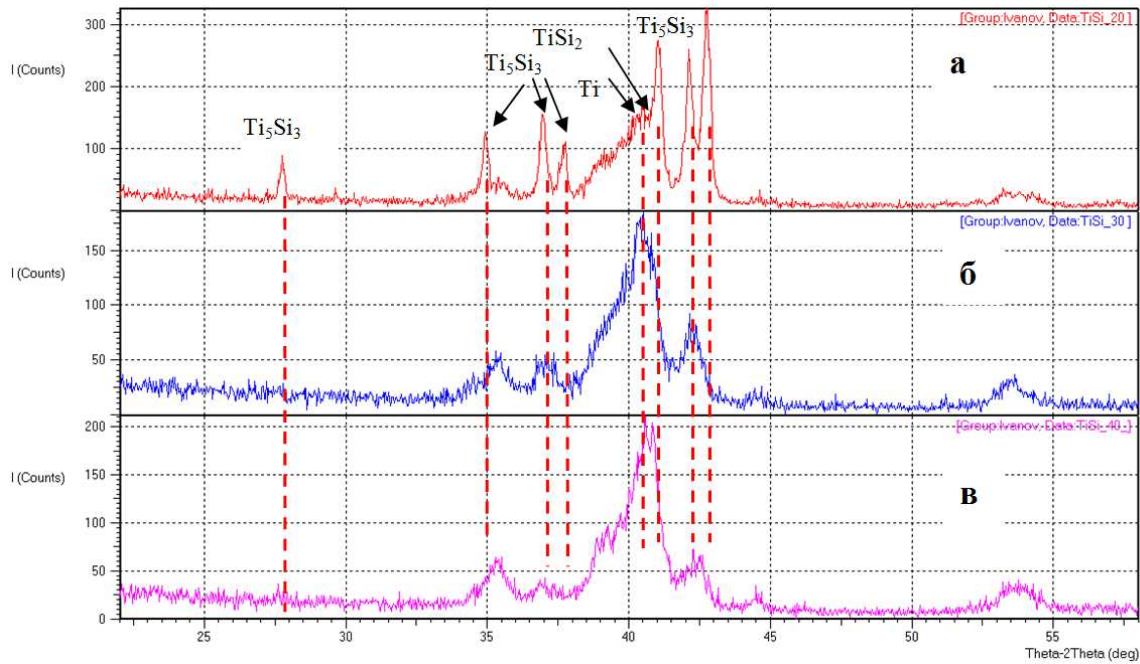


Рис. 2. Участки рентгенограмм, полученных с системы пленка (Si) / подложка (BT1-0), облученной электронным пучком (200 мкс, 3 имп, $0,3 \text{ с}^{-1}$) при плотности энергии пучка электронов (а) – 20 Дж/см²; (б) – 30 Дж/см²; (в) – 40 Дж/см². Указаны дифракционные линии фаз, присутствующих в поверхностном слое (слое толщиной ~10 мкм) исследуемых материалов

Определение коэффициента трения и скорости износа поверхностного слоя проводили в геометрии диск-штифт с помощью трибометра (CSEM, Швейцария) при комнатной температуре и влажности. В качестве контр-тела использовали шарик из сплава ВК8 диаметром 3 мм, диаметр трека 2 мм, скорость вращения – 2,5 см/с, нагрузка – 3 Н, дистанция до остановки – 65 м, количество оборотов – 5000. Объем износа поверхностного слоя определяли после проведения профилометрии образовавшегося трека с помощью лазерного оптического профилометра MicroMeasure 3D Station (Stil, Франция). Скорость износа рассчитывали по формуле:

$$V = \frac{2 * \pi * R * A}{F * L} \text{ [мм}^3\text{/Н*м]}, \text{ где } R \text{ – радиус трека [мм], } A \text{ – площадь поперечного сечения канавки износа [мм}^2\text{], } F \text{ – величина приложенной нагрузки [Н], } L \text{ – пройденная шариком дистанция [м].}$$

Выполненные таким образом исследования выявили снижение скорости изнашивания поверхностного слоя в 1,4 раза; коэффициент трения при этом практически не изменяется.

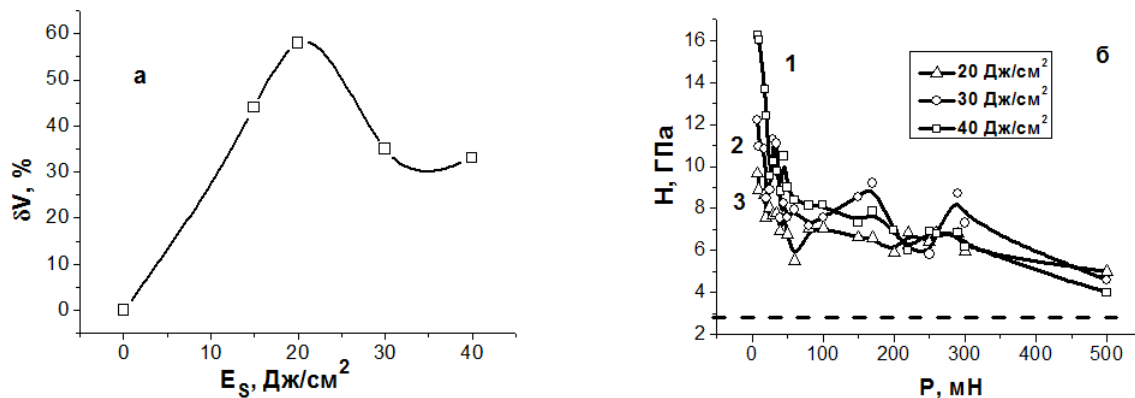


Рис. 3. Зависимость твердости поверхности системы Si/BT1-0 (а) и объемной доли вторых фаз ($\text{Ti}_5\text{Si}_3 + \text{TiSi}_2$) (б) от величины нагрузки на индентер. Облучение электронным пучком (200 мкс, 3 имп., $0,3 \text{ Гц}$): 1 – 40 Дж/см², 2 – 30 Дж/см², 3 – 20 Дж/см²

Заключение

Разработана методика и продемонстрирована возможность легирования титана кремнием с образованием многослойного композитного материала Ti (основа) / Ti₅Si₃ (поверхностный слой), представляющего особый интерес как высокотемпературный легкий материал вследствие формирования высокотемпературного (T_{пл} = 2400 К) силицида титана состава Ti₅Si₃, синтезируемого в едином вакуумном цикле при воздействии высокоинтенсивного электронного пучка субмиллисекундной длительности на систему пленка (кремний) / подложка (титан), сформированную в результате распыления кремния пучком электронов. Выявлены оптимальные режимы облучения системы пленка (Si)/подложка (BT1-0) высокоинтенсивным импульсным электронным пучком (20 Дж/см², 200 мкс, 3 имп, 0,3 с⁻¹), позволяющие формировать многослойный композитный материал Ti (основа) / Ti₅Si₃ (поверхностный слой с относительным содержанием фазы Ti₅Si₃ 57,62 мас. %) с субмикро- нанокристаллической структурой, твердость которого в ~2,5 раза превышает твердость основы. Полученные результаты являются основанием для разработки комбинированной технологии формирования многофазных субмикро- нанокристаллических поверхностных силицидных слоев с особыми физико-механическими свойствами.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке программы президиума РАН (проект №24).

Литература.

1. High Temperature Structural Silicides // Proc. Of the First High Temperature Structural Silicides Workshop, USA, 1991 - Elsevier Sci. Publ., Amsterdam, 1992. – 278 p.
2. Нечипоренко Е.П., Петриченко А.П., Павленко Ю.Б. Защита металлов от коррозии. – Харьков: Вища школа, 1985. – 112 с.
3. Самсонов Г.В., Эпик А.П. Тугоплавкие покрытия. – М.: Металлургия, 1973. – 400 с.
4. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. Справ./под ред. Л.С. Ляховича. – М.: Металлургия, 1981. – 420 с.
5. Литовченко С.В., Береснев В.М., Дробышевская А.А., Турбин П.В. Силицидные покрытия на молибдене: получение, структура, свойства // Физическая инженерия поверхности. – 2012. – Т.10, №2. – С. 110-137.

ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ, МЕТОДЫ УПРОЧНЕНИЯ И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СОСТАВНОГО ИНСТРУМЕНТА

*В.А. Петрова, к.т.н., доц., А.А. Баканов, к.т.н., доц. *, А.В. Вальтер**, к.т.н., доц.*

Сибирский государственный индустриальный университет

654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42, e-mail: valyaa.Petrova@mail.ru

**Филиал ФГБОУ ВПО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» в г. Новокузнецке*

654000, г. Новокузнецк, ул. Орджоникидзе, 7, e-mail: alekbakanov@yandex.ru

*** Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского Томского политехнического университета*

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, e-mail: avwalter@rambler.ru

Методы и средства оценки надежности играют немаловажную роль, поскольку, являясь одной из составляющих качества, она характеризует способность изделий выполнять заданные функции в условиях эксплуатации в течение заданного времени с сохранением определенных свойств. Одним из путей повышения надежности является изучение свойств материала и деформационных процессов, происходящих в нем во время эксплуатации и приводящих к разрушению вследствие появления и развития макротрещин.

Основным технологическим процессом, применяющимся при изготовлении продукции, в том числе инструмента, является сварка, от которой во многом зависит качество и надежность сварного изделия. Несмотря на прогресс в развитии сварочной техники и технологии, в сварных соединениях по ряду причин возникают дефекты различного вида и размеров, приводящие к снижению их работоспособности и долговечности.

С одной стороны, оценка градиентных структурно-фазовых состояний, возникающих при различных воздействиях на материал, позволяет определить пути управления структурными и фазовыми превращениями, например, посредством регулирования параметров сварочного процесса, режи-