

**РАЗРАБОТКА И КОМПЛЕКСНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ  
НА ОСНОВЕ НИКЕЛИДА ТИТАНА С ЭФФЕКТАМИ ПАМЯТИ И ПРИБОРОВ,  
УСТРОЙСТВ, ИНСТРУМЕНТОВ НА ИХ ОСНОВЕ.  
ПРОЕКТ № 24**

**Координаторы:** д-р физ.-мат. наук Лотков А. И., д-р физ.-мат. наук Пушин В. Г.

**Исполнители:** ИФПМ СО РАН, ИФМ УрО РАН

Показано, что воздействие на поверхность сплава направленными потоками металлических ионов (метод высокодозовой ионной имплантации (ВДИИ)) и низкоэнергетических электронов (метод облучения низкоэнергетическим сильноточным электронным пучком (НСЭП)) вызывает изменение концентрации основных компонентов материала — Ti и Ni на глубину, превышающую в 3—4 раза глубину проникновения пучка, насыщение внешнего слоя материала толщиной ~5 нм (после обработки НСЭП) и ~20—30 нм (ВДИИ и комбинации ВДИИ и НСЭП) — элементами внедрения — O и C (см. рисунок). В условиях воздействия ВДИИ различными дозами ионов  $Ti^+$ ,  $Zr^+$ ,  $Pd^+$ ,  $Si^+$  отмеченные выше процессы радиационно-стимулированной диффузии протекают на фоне формирования поверхностно-легированного слоя с максимумом концентрации ионов внедрения ( $C_{Me}$ ), составляющим  $C_{max} \cong 5—17$  ат.% Me и расположенным на глубине ~20—30 нм от поверхности (на рисунке — а). Ширина слоя, в котором  $C_{Me} \geq 1/2 C_{max}$ , может достигать 60—80 нм в зависимости от сорта вбиваемого иона.

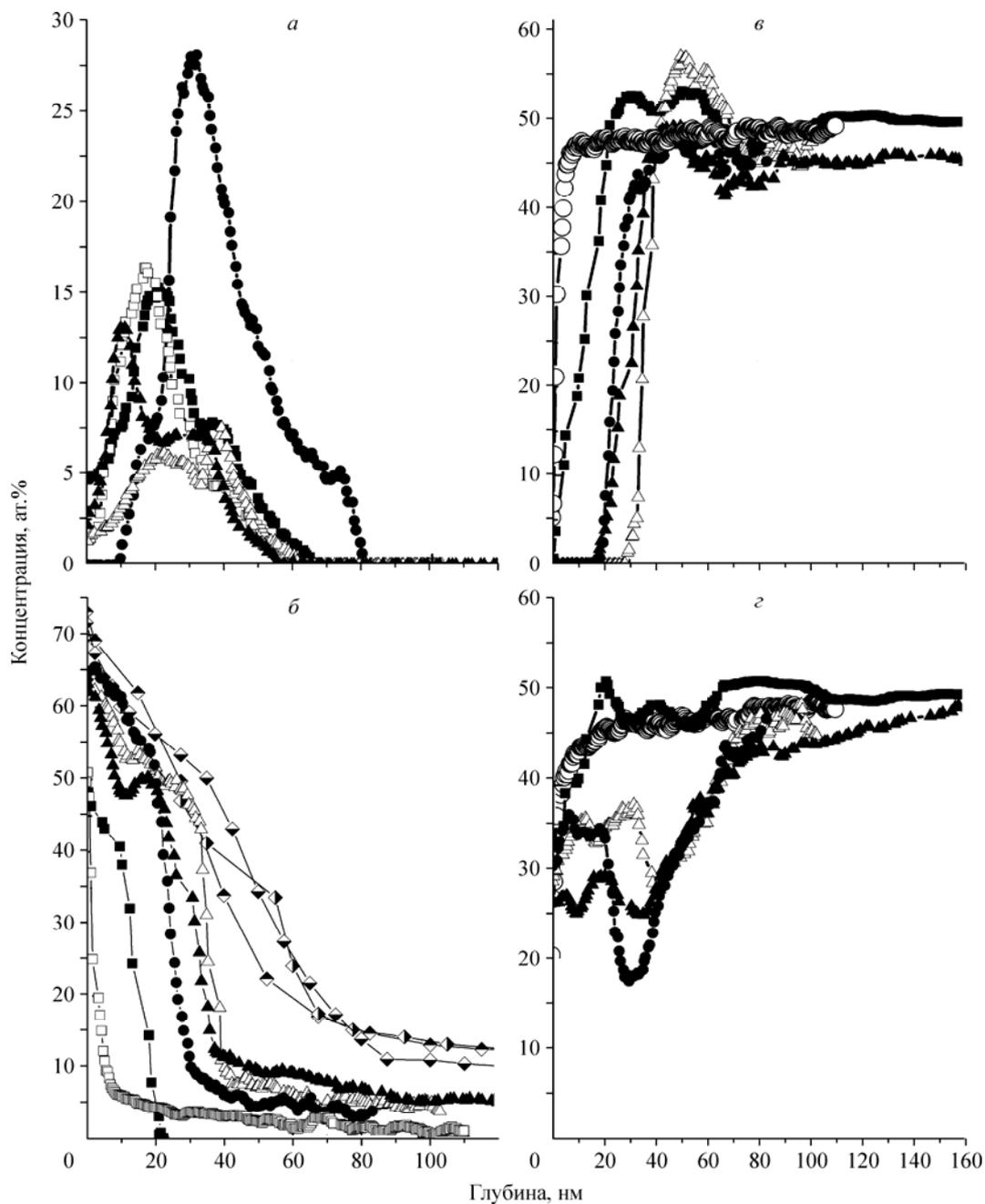
Установлено, что имплантация металлических ионов и импульсное воздействие низкоэнергетическими электронными пучками на поверхностные слои сплавов на основе TiNi приводят к образованию безникелевого и следующего за ним обедненного никелем слоев с суммарной толщиной обедненного никелем слоя около 40—60 нм при ВДИИ (на рисунке — в) и более 400 нм при облучении НСЭП. Эффект обеднения никелем внешних поверхностных слоев обусловлен, с одной стороны,

наличием неравновесной системы радиационных дефектов вакансионного типа в модифицированных поверхностных слоях и различными величинами энергий образования и миграции вакансий на подрешетках В2-структуры, с другой стороны, что обеспечило при движении потоков вакансий к основному стоку — поверхности — большую диффузионную подвижность в противоположном направлении атомов никеля, по сравнению с диффузией атомов титана.

С использованием методов рентгеноструктурного и оже-элементного анализов установлено, что ионно-модифицированный поверхностный слой сплава  $Ti_{49,5}Ni_{50,5}$  толщиной менее 0,2 мкм состоит из оксидов и карбидов вбиваемых ионов, а также вторичных фаз систем Ti—Ni и Ti—Ni—Me (Me:  $Ti^+$ ,  $Zr^+$ ,  $Pd^+$ ,  $Si^+$ ), дисперсно распределенных в объеме основной фазы с В2-структурой. При этом основная В2-фаза в модифицированном слое обогащена никелем и ее состав может достигать  $Ti_{48}Ni_{52}$ .

Воздействие ионным, электронным облучениями на поверхность никелида титана приводит к упрочнению поверхностных слоев разной толщины в зависимости от природы пучка, а глубины слоев, в которых произошли изменения интегральных свойств прочности, как минимум в 10 раз превышают расчетную толщину прохождения пучка в вещество.

Модификация ионным пучком поверхности и поверхностных слоев образцов и изделий из сплавов на основе TiNi как завершающая стадия поверхностной обработки может значительно улучшить их коррозионные свойства, а



Концентрационные профили распределения в ионно-модифицированных слоях (ожеспектральный анализ) имплантированных ионов Si, Zr и Pd (*a*), кислорода (*б*) и основных компонентов сплава  $Ti_{49,5}Ni_{50,5}$  — Ni (*в*) и Ti (*г*).

Auger depth profiles of the Si-, Zr- and Pd-implanted ions (*a*) and main alloy components: oxygen (*б*), Ni (*в*) and Ti (*г*) distributed after 60 keV ion bombardment of the  $Ti_{49,5}Ni_{50,5}$  samples.

также на порядок понизить концентрацию никеля, выходящего на поверхность, при взаимо-

действии этих материалов с химическими растворами — имитаторами биологических сред.

**Основные публикации**

1. *Лотков А. И., Мейснер Л. Л., Гришков В. Н.* Сплавы на основе никелида титана: ионно-лучевая, плазменная и химическая модификации поверхности// *Физика металлов и металловедение*. 2005. Т. 99, вып. 2. С. 1—13.
2. *Meisner L. L., Lotkov A. I., Psachje S. G. et al.* Effect of the pulsed electron beam melting on a chemical composition and surface layer microstructure of the TiNi alloy// *Proc. 7th Int. Conf. on Modification of Materials with Particle Beams and Plasma Flows, Tomsk, Russia, 25—30 July 2004*. 2004. P. 285—288.
3. *Мейснер Л. Л.* Механические и физико-химические свойства сплавов на основе никелида титана с тонкими поверхностными слоями, модифицированными потоками заряженных частиц// *Физическая мезомеханика*. 2004. Т. 7, ч. 2. С. 169—172.
4. *Мейснер Л. Л., Лотков А. И., Сивоха В. П. и др.* Материал с эффектом памяти формы. Патент на изобретение № 2259415 от 27.08.2005.