

УДК 539.1.043

И.С.Ташлыков, профессор;
О.Г.Бобрович, инж.; В.Ч.Пальчех,
инж.; В.В.Тулъев, аспирант;
М.Г.Шадрухин, инж.

**ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА СТАЛЕЙ
ВНЕДРЕНИЯ УСКОРЕННЫХ ИОНОВ ТИТАНА И ХРОМА
СОВМЕСТНО С КРЕМНИЕМ**

The effect of ion implantation treatments on hardness, corrosion behaviour of steel (CT3, CT45, CT40X) in solutions with weak acidity (pH=5.0-6.5) were investigated. Ions of Cr⁺, Ti⁺, Si⁺ were implanted with the energy of 15-20 keV and dosis from 8x10¹⁵ to 8x10¹⁶ cm⁻². RBS technique was employed to investigate the surface layers content of the treated samples.

Длительное время проводятся исследования по управлению физическими и химическими свойствами сталей путём воздействия на них ускоренных ионов [1-3]. Нами изучаются возможности ионной имплантации в изменении свойств сталей, из которых изготавливают пресс-формы для формирования эластомеров с целью снижения скорости образования отложений. Современное состояние проблемы засорения металлических форм для прессования эластомеров стимулирует проведение исследований по изучению влияния разных факторов на ходимость пресс-форм. Известно, что эту проблему пытаются решить, вводя добавки в резину [4]. В наших опытах легирующие добавки вводятся в поверхность пресс-форм ионным внедрением. Ионное внедрение имеет ряд преимуществ перед другими методами модификации свойств поверхностей материалов. Это и возможность получения практически любой комбинации матрица-легирующий элемент, отсутствие проблемы адгезии между модифицированным слоем и матрицей, сравнительно малое количество легирующих примесей, требуемых для модифицирования свойств материалов и изделий.

При облучении ускоренными ионами сталей, используемых или которые могут быть использованы в последующем для изготовления пресс-форм, нами контролировались такие характеристики материалов, как элементный состав, твёрдость и коррозионная стойкость облученных ионами поверхностей. Предварительные результаты проведённых нами опытов показывают воз -

возможность замены электролитического хромирования пресс-форм с целью защиты от коррозии на формирование защитных покрытий ионным внедрением.

Поликристаллические образцы, изготовленные из стали Ст3, Ст45 и Ст40Х, облучали ионами Cr^+ , Ti^+ и $(Cr+Si)^+$, $(Ti+Si)^+$ с энергией 15 и 20 кэВ и интегральными потоками от 8×10^{15} до 8×10^{16} см⁻², используя ионный источник тугоплавких металлов [5]. Твёрдость поверхности образцов определялась по методу Виккерса. Каждое значение микротвёрдости H_v является усреднённым пятнадцати измерений на образце. Для элементного анализа применяли метод Резерфордского обратного рассеяния (РОР) ионов гелия с энергией $E_0 = 1.25$ мэВ в условиях оптимизированной геометрии опыта. Для контроля дозы ионов в ряде опытов вместе со стальными образцами имплантировались бериллиевые образцы, что позволяет также с достаточной степенью точности определить слоевую концентрацию сопутствующей примеси. Для профилирования примеси, внедрённой в стальные мишени, использовали машинное моделирование. При построении шкалы глубин для расчётов тормозной способности использовали правило Брега в предположении введения добавок кислорода, хрома, титана, кремния в железо. Электрохимические свойства облучённых образцов изучали в боратном буферном растворе (pH=6.5) при 25°C, используя потенциодинамические и потенциостатические методы. В ряде опытов изучали поведение образцов в подкисленном растворе Na_2SO_4 (pH=5.0) и слабом растворе H_2SO_4 (0.01н).

Из анализа спектров обратного рассеяния от образцов Ст40Х и образцов свидетелей из бериллия, облучённых ионами Cr^+ и Ti^+ с энергией 15 кэВ, получены данные о пространственном распределении хрома, титана и сопутствующей примеси кислорода в стали 40Х (рис.1). Результаты, полученные для сталей Ст3 и Ст45, хорошо коррелируют с данными для стали 40Х.

Следует отметить, что профиль распределения титана, внедрённого в сталь, качественно согласуется с ожидаемым, но максимум концентрации находится на глубине, приблизительно превышающей в 1,5-2 раза проективный пробег R_p

ускоренных ионов (рис. 1б). Распределение кислорода при этом имеет явно выраженный максимум на поверхности. Его содержание отвечает приблизительному составу $Me(Ti, Fe)O_2$.

Пространственное распределение хрома в стали 40X существенно отличается от расчётного. Отмечается, что в интервале изученных доз хром распространяется на глубину, которая превышает проективный пробег R_p в несколько раз (рис. 1а). Профиль распределения кислорода согласуется с распределением хрома, что позволяет предположить, что кислород соединя-

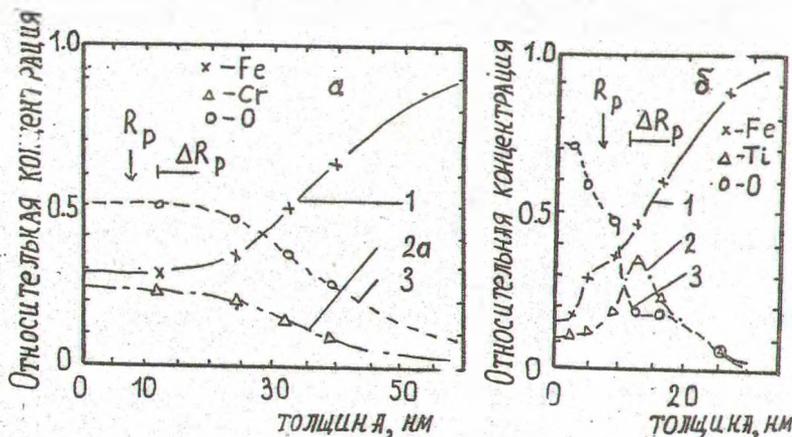


Рис. 1. Профили относительной концентрации железа (1), хрома (2а) и кислорода (3) в стали Ст40Х, имплантированной ионами с энергией 15 кэВ:
 а - хрома, дозой $8.7 \times 10^{16} \text{ см}^{-2}$;
 б - титана, дозой $4.8 \times 10^{16} \text{ см}^{-2}$

ется с хромом в соотношении $Me(Cr)O_2$.

При совместной имплантации ионов титана и хрома с кремнием профили распределения внедрённых компонентов в основном согласуются с расчётными.

Следует отметить наличие "хвостов" в распределении имплантированных ионов, а та же кислорода на глубинах, которые многократно превышают R_p ионов г железа. По-видимому, природа наблюдаемых эффектов связана со спецификой импульсной имплантации ионов в использованном нами источнике, отмечавшейся ранее авторами [7, 8]. В этом эффекте возможно также появление механизма химической природы примеси, вводимой ионным внедрением в железо. Немаловажным фактором в инициирова-

нии отмеченных явлений может быть высокая (более 1эВ/ат) плотность выделенной энергии при использованных режимах ионной имплантации [9].

Сравнительные данные об изменении микротвёрдости сталей разного состава, облучённых ионами Ti^+ с $E=15\text{ кэВ}$ и дозой $1.8 \times 10^{16}\text{ см}^{-2}$, представлены в табл. I.

Табл. I. Значения измеренной микротвёрдости сталей до и после облучения ионами титана

Материал	!	Ст 3	!	Ст 45	!	Ст 40X
$H_{\mu}, \frac{\text{кгс}}{\text{мм}^2}$!	исх.	!	I5I	II	276
	!	обл.	!	I9	I4	25
				I96		394
				269		31

Приведённые результаты свидетельствуют о том, что увеличение относительного изменения твёрдости образцов наблюдается при внедрении ионов Ti^+ в сталь по мере усиления её легирования углеродом и далее хромом. Предполагается, что данный эффект можно связать с наличием в исходных образцах примеси, которая совместно с имплантированной способствует закреплению в приповерхностном слое образца дислокаций, образующихся в процессе испытания образца на твёрдость.

Табл. 2. Значения микротвёрдости стали 40X, облучённой ионами титана и титана совместно с кремнием, и доза ионов титана

Доза, $\times 10^{16}\text{ см}^{-2}$	$H_{\mu}, \frac{\text{кгс}}{\text{мм}^2}$ в Ст 40X, облучённой ионами	
	!	$(\text{Ti} - \text{Si})^+$
1.8	!	295 II
3.0	!	4II 25
		394 3I
		527 44

Из экспериментальных данных, которые приведены в табл. 2, следует, что при совместной имплантации ионов $(\text{Ti} - \text{Si})^+$ относительное изменение твёрдости меньше, чем при внедрении только ионов металла. Следовательно, введение в сталь 40X дополнительно к титану ещё и кремния способствует таким изменениям физико-химических свойств, в результате которых твёрдость образцов увеличивается меньше, чем в стали, облучённой ионами титана. Этому могут частично способствовать

структурные изменения в металле при облучении с введением в него металлоида, как это наблюдалось в ряде опытов [10]. Вместе с этим важным фактором изменения свойств может быть также изменение химического состава приповерхностных слоёв за счёт образования твёрдого раствора, содержащего кремний.

Оценивая действие ионов хрома на твёрдость сталей, следует отметить только то, что величина относительного изменения H_{μ} при сравнимых дозах лежит в интервале значений,

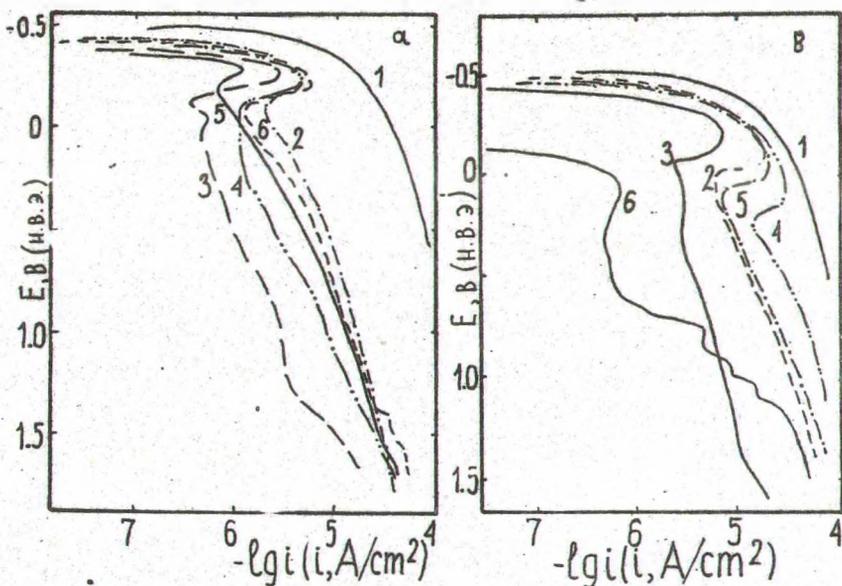


Рис.2. Потенциодинамические кривые анодной поляризации (3.6 В/ч) стали Ст 3 (а) и Ст 40Х (в) в боратном буферном растворе (рН=6.5) при 25°С до (1) и после ионной имплантации Ti^+ (2, 3) и $(Ti-Si)^+$ (4-6) со следующими дозами ионов: 2, 4 - $8 \times 10^{15} \text{ см}^{-2}$, 3 - $2 \times 10^{16} \text{ см}^{-2}$, 5 - $1 \times 10^{16} \text{ см}^{-2}$, 6 - $1.5 \times 10^{16} \text{ см}^{-2}$

полученных при имплантации ионов $(Ti-Si)^+$ и Ti^+ .

Анализируя коррозионное поведение исследованных образцов, необходимо отметить, что в результате имплантации Ti^+ , $(Ti-Si)^+$, $(Cr-Si)^+$ коррозионно-электрохимические характеристики сталей в целом улучшаются как в активной (облагораживание $E_{кор}$, снижение скорости растворения в активной области), так и в пассивной областях (появление области пассивации, снижение анодных токов растворения), рис.2. При

этом из поляризационных кривых, приведённых на рис.2, следует, что коррозионное поведение использованных в качестве подложки сталей не различается.

ЛИТЕРАТУРА

1. Dearhaley, in: Application of Ion Beams to Metals, eds. Picraux S.T., Ernisse E.P., Voc F.L. (Pl. Press, N.York, 1974). P.63
2. Hartley H.E.W., in Ion Implantation (Treatise on materials science and technology; v.18), ed. Hirvonen J.K. (Academic Press, New York, 1980). R321.
3. Feber H., Wolf G.K., Schmieded H. and Dearnaley G., in: Surface Modification of Metals by Ion Beams, eds. Wolf G.K., Grant W.A. and Procter R.P.M. (Elsevier Segnoia S., Lausanne and New York, 1985). P.261.
4. The materials of Japan-USSR Technical cooperation. CI C. ИТОН and Co., Ltd (Moscow, 1991). P.1-15.
5. Мазуркевич Л.М., Ходасевич В.В., Кутсанов В.А., Серов А.С., Понкратов В.В., Кобяк А.Г. и Бобков В.В. //Вакуумная техника и технология.-1991.-№(3).-С.18.
6. Мартыненко Ю.В., Московин П.Г. Ускорение диффузии, ионно-имплантированной примесью при больших дозах. //Взаимодействие атомных частиц с твёрдым телом.-1989.-С.268-270.
7. Ташлыков И.С., Куликаускас В.С. Состав и толщина приповерхностных слоёв стали при модифицировании ионами из ионного источника. //Тез. докл. XXI все. совещ. по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами.-М.: Изд-во МГУ, 1991.-С.100.
8. Бойко Е.Б., Поплавский В.В. Исследование распределения атомов олова и свинца, имплантированных в металлические и углеродные мишени. //Микроанализ на ионных пучках.-Сумы: 1990.-С.8.
9. Sigmund P. Energy density and time constant of heavy-ion-induced elastic-collision spikes in solids //Appl. Phys. Lett.-1974.-V.25.-P.169-171.
10. Cohen C., Benyagoub A., Bernas H. Transformation to amorphous state of metals by ion implantation P in Ni //Phys. Rev.-1985.-V.B31.-P.5-14.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Марченко В.М. Актуальные проблемы качественной теории управления для систем с последействием	3
2. Асмыкович И.К. Модальное управление в дескрипторных системах с запаздыванием ..	27
3. Каянович С.С. Исследование разрозимости уравнений гидродинамики в областях специального вида	35
4. Кулешова И.Ф. Построение и исследование варианта метода дифференциальной ортогональной прогонки для граничных задач с погранслоем ..	40
5. Ротт Л.А. Изоморфизм: турбулентность и квантово-механическая среда	45
6. Немцов В.Б. Временная корреляционная функция параметра порядка для ориентированных нематических жидких кристаллов....	55
7. Вислович А.Н., Полевиков В.К. Численное моделирование формы свободной поверхности магнитожидкостного уплотнения	60
8. Ташлыкков И.С., Бобрович О.Г., Пальчех В.Ч., Тульев В.В., Шадрухин М.Г. Воздействие на прочностные свойства сталей внедрения ускоренных ионов титана и хрома совместно с кремнием ..	70

Главный редактор сборника "Труды БТИ"

профессор И.М.Жарский

Серия У

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

Редактор и корректор М.Ф.Мурашко.

Подписано в печать 14.07.93. Формат 60x84^{1/8}.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 5,4. Усл.кр.-отт.5,4.Уч.-изд.л.4,6.

Тираж 75 экз. Заказ 328

Белорусский технологический институт. 220630. Минск, Свердлова, 13а.

Отпечатано на ротапринте Белорусского технологического института.

220630. Минск, Свердлова. 13.