

**Василенко Наталья Афанасьевна**

*кандидат физико-математических наук, доцент,  
заведующая кафедрой общей физики и технической механики  
Институт химических технологий (г. Рубежное)  
Восточноукраинского национального университета им. В. Даля*

**Vasilenko N. A.**

*Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor,  
Head of the Department of General Physics and Technical Mechanics  
Institute of Chemical Technologies (Rubizhne)  
of the V. Dal' East — Ukrainian National University*

**Гончаров Виталий Викторович**

*кандидат химических наук, доцент,  
доцент кафедры общей физики и технической механики  
Институт химических технологий (г. Рубежное)  
Восточноукраинского национального университета им. В. Даля*

**Honcharov V. V.**

*Candidate of Chemical sciences, Associate Professor,  
Associate Professor of the Department of General Physics and Technical Mechanics  
Institute of Chemical Technologies (Rubizhne)  
of the V. Dal' East — Ukrainian National University*

## **УЛУЧШЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОКАТНОГО ИНСТРУМЕНТА МЕТОДОМ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ**

### **IMPROVEMENT OF SURFACE MECHANICAL CHARACTERISTICS OF ROLLING INSTRUMENTS BY IONIC IMPLANTATION**

**Аннотация.** В работе методом ионной имплантации была модифицирована поверхность чугуновых валков ионами молибдена и хрома в азотосодержащей атмосфере. Установлено что поверхностные защитные покрытия CrN и MoN, которые в 2,5 раза повышают твердость поверхности, продлевают срок службы прокатного инструмента.

**Ключевые слова:** структура, свойства, нитрид, кинетика роста, ионная имплантация.

**Summary.** In the work the pig-iron rolls surface was modified by Mo, Cr, N ions by ionic implantation. It is established that superficial coatings CrN and MoN which in 2,5 times accordingly raise superficial hardness prolong service life of the rolling tool.

**Key words:** structure, properties, nitride, growth kinetics, ionic implantation.

#### **Введение**

Развитие отраслей строительства, приборостроения, инженерных и транспортных систем требует решения ряда важных задач: упрочнения поверхности и сердцевины чугуновых и стальных деталей используемых в строительной технике, повышение износостойкости и твердости поверхности элементов инженерных конструкций и машин. Данные задачи можно решить внедрением в поверхность деталей различных

атомов и ионов. Такое модифицирование поверхности дает значительный положительный эффект как за счет повышения ресурса работы изделий, так и за счет экономичности мероприятий по повышению несущей способности основного материала. Одной из разновидностей упрочняющих вакуумных ионно-плазменных технологий является метод ионной имплантации [1]. Данный метод позволяет получать защитные покрытия в нанокристаллическом состоянии, которое

характеризується високими фізическими і технологіческими своївствами [2].

**Методика експеримента**

В данній роботі методом іонної імплантації була модифікована поверхність чугунних валков іонами  $Mo^+ N$  і  $Cr^+ N$  при режимі:  $U_p = 400$  В,  $I_p = 0,5$  А,  $U_m = 2$  кВ,  $I_m = 50$  мА,  $U_{подл} = 25$  кВ,  $I_{подл} = 35$  мА, комнатної температури і робочем давленні  $5 \cdot 10^{-2}$  Па. Время імплантації варіювалося від 10 до 90 мин. Отримані модифіковані шари іспитувалися на твердість і адгезію, т.к. ці механіческіє своївства являються найбільш важливіми показателями упрочнення поверхності. Ізмерення мікротвердості проводилися на мікротвердомері ПМТ-3 по общепринятій методикі, а адгезіонних своївств нітридних покриттів  $CrN$  і  $MoN$  — склерометрическим методом (методом царапанія) [3]. В качестве индентора использовался алмазный конус Роквелла с углом при вершине  $120^\circ$ , передвигаемый по поверхности покрытия со скоростью 3 см/с. Вертикальная нагрузка на индентор увеличивалась до критического значения, при котором покрытие полностью отслаивалось от подложки, и составляла 15–35 г. Данную критическую нагрузку определяли, исследуя царапины под металлографическим микроскопом.

**Результаты эксперимента и их обсуждение**

На рис. 1. приведена зависимость микротвердости от времени имплантации покрытия нитрида хрома на подложках серого чугуна СЧ 21. Как видно из графика данная зависимость имеет неоднородный характер. От 10 до 60 мин. модификации поверхности микротвердость линейно возрастает, что свидетельствует о формировании нитридных фаз уже на начальных этапах имплантации. Далее наблюдается некоторое снижение микротвердости (70 мин. имплантации), что на наш взгляд связано с образованием в данный момент времени на поверхности чугунных подложек соединения  $FeCr$  (рис. 2). Максимальная твердость покрытия наблюдается на 70 мин. модификации поверхности и составляет 6,7 ГПа, что в 2,5 раза превышает твердость не модифицированной подложки.

Зависимость твердости покрытия нитрида молибдена на подложках из серого чугуна СЧ 21 от времени имплантации представлена на рис. 3. Данная зависимость имеет такой же характер, как и в случае покрытия нитрида хрома. Максимальная твердость покрытия  $MoN$  на подложках из серого чугуна СЧ 21 достигает 7,2 ГПа и превышает твердость подложки в 2,5 раза, что несколько выше, чем в случае покрытия  $CrN$  на тех же подложках.

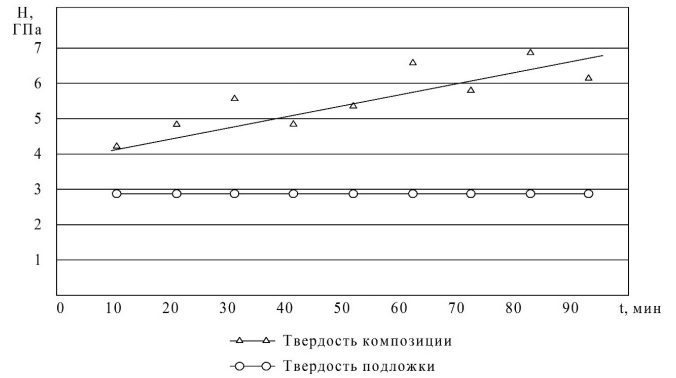


Рис. 1. Зависимость микротвердости от времени имплантации покрытия нитрида хрома на подложках серого чугуна СЧ 21

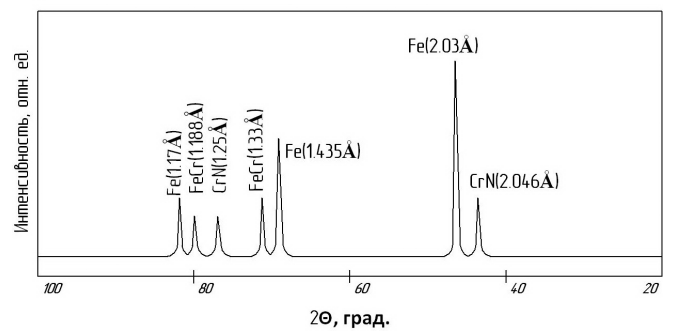


Рис. 2. Дифрактограмма покрытия, полученного на подложке СЧ 21 методом ионной имплантации при модификации поверхности ионами Cr и N (70мин)

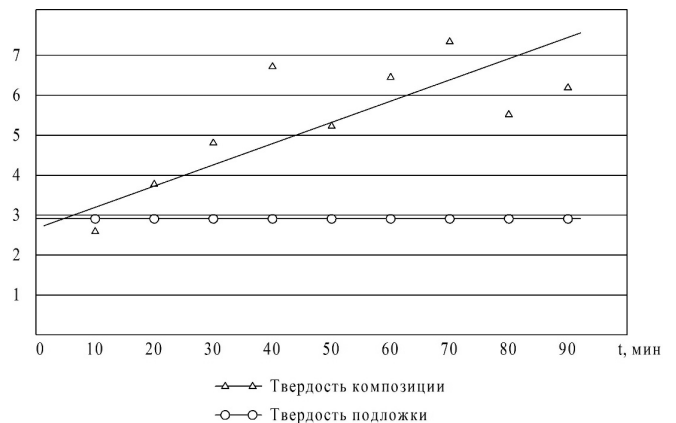


Рис. 3. Зависимость микротвердости от времени имплантации покрытия нитрида молибдена на подложках серого чугуна СЧ 21

Данные по оценке величины адгезии модифицированных нитридных покрытий приведены в табл. 1 и табл. 2.

Результаты склерометрических исследований модифицированных нитридных покриттів приведены на рис. 4 и 5.

Из данных по оценке величины адгезии поверхности следует, что с увеличением времени имплантации

Таблица 1

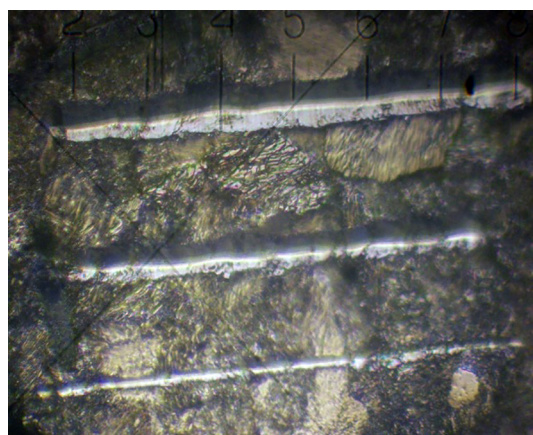
**Величина адгезии модифицированного покрытия MoN на подложках СЧ 21, ГПа**

Нагрузка на индентор, г.	Время имплантации, мин.								
	10	20	30	40	50	60	70	80	90
35	2,27	2,36	2,65	2,88	2,76	2,45	3,13	2,76	2,55
25	3,28	4,92	3,46	4,92	4,62	4,92	4,62	5,63	5,26
15	15,48	14,28	14,48	12,62	19,71	19,8	19,71	12,09	12,62

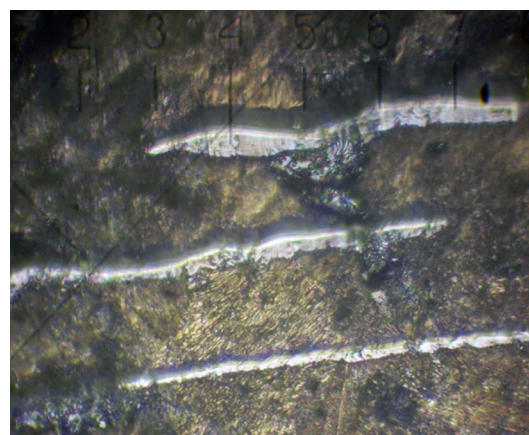
Таблица 2

**Величина адгезии модифицированного покрытия CrN на подложках СЧ 21, ГПа.**

Нагрузка на индентор, г.	Время имплантации, мин.								
	10	20	30	40	50	60	70	80	90
35	2,01	2,27	2,27	2,36	2,36	2,45	2,45	2,45	2,55
25	3,28	3,92	3,46	3,82	3,47	3,42	3,31	4,43	4,26
15	12,48	12,62	14,48	12,62	12,71	12,2	11,71	11,09	10,22



а)

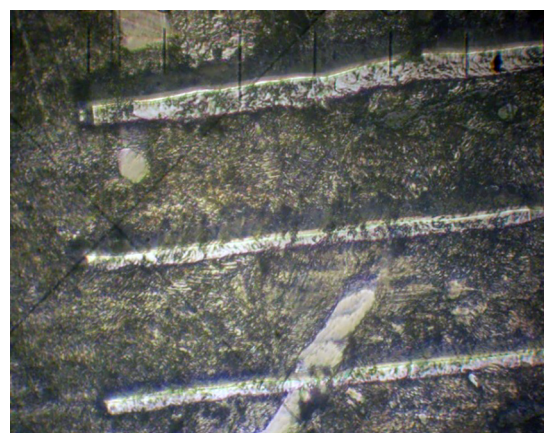


б)

Рис. 4. Результаты царапания поверхности нитрида молибдена на подложках серого чугуна СЧ 21 при нагрузке на индентор 15, 25, 35 г: а) время имплантации 10 мин, б) время имплантации 80 мин.



а)



б)

Рис. 5. Результаты царапания поверхности нитрида хрома на подложках серого чугуна СЧ 21 при нагрузке на индентор 15, 25, 35 г: а) время имплантации 10 мин, б) время имплантации 80 мин.

величина адгезии возрастает. Максимальное значение величины адгезии составляет 19,71 ГПа для нитрида молибдена и 14,48 ГПа для нитрида хрома и свидетельствует об увеличении глубины модифицированного покрытия, то есть имеет место термическая и радиационно-стимулированная диффузия.

### Вывод

Для повышения механических свойств чугуновых прокатных валков рекомендуется использовать поверхностные защитные покрытия CrN и MoN, которые в 2,5 раза повышают поверхностную твердость, а следовательно продлевают срок службы прокатного инструмента.

### Литература

1. Ионная имплантация и лучевые технологии / [под. ред. Дж. С. Вильямса, Дж. М. Поута]. — К.: Наукова думка, 1988. — С. 360.
2. Дзюба В. Л., Кляхина Н. А., Зёма А. В. Оптимизация свойств защитных покрытий для прокатного инструмента / Научный вестник ДГМА. — 2009. — № 2 (5Е). — С. 36–40.
3. Тополянский П. А. Исследование адгезионных свойств и механизма образования покрытия, наносимого методом финишного плазменного упрочнения / Материалы 7-й Международной практической конференции-выставки 12–15 апреля 2005 г. «Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки». — Санкт-Петербург: СПбГПУ, 2005. — С. 316–333.