

## СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ХРОМА

**Завьялов В.А., Курноскин И.А., Плесовских А.Ю.,  
Крылова С.Е., канд. техн. наук, доцент,  
Оплеснин С.П., Шурупов А.Ю.  
Оренбургский государственный университет**

Известны многочисленные методы нанесения покрытий, наиболее оптимальным из которых выбран метод КИБ (конденсация и ионная бомбардировка), относящийся к методам физического осаждения покрытий. Наиболее характерной особенностью покрытий, получаемых этим методом, является отсутствие переходной зоны между покрытием и инструментальным материалом, что даёт возможность получать комплекс свойств на рабочих поверхностях инструмента, не ухудшая характеристик основы инструмента [1].

Распространенным однослойным износостойким покрытием на инструмент является CrN. Данное покрытие имеет серебристый цвет, обладает высокой пластичностью и трибологическими свойствами, твердость не более 11 ГПа, коэффициент трения по стали – 0,3. Покрытия типа CrN применяют для снижения налипания материала заготовки на режущий инструмент, штампы, пресс-формы и детали машин. Низкая температура нанесения (около 200°С) обеспечивает сохранение твердости основного материала.

Целью работы послужило изучение структуры, фазового состава и распределения микромеханических свойств поверхностного слоя коррозионно-стойких сталей после нанесения покрытия CrN ионно-плазменным методом. Материалом для исследования послужили опытные образцы стали 40Х после нанесения поверхностного покрытия ионно-плазменным методом на установке ВУП – 1.

Вакуумный пост ВУП-1 предназначен для нанесения на подложку тонких металлических и углеродных пленок в вакууме. Высокий вакуум в рабочем объеме создают с помощью паромасляного диффузионного насоса. Для предварительной откачки вакуумной системы служит механический форвакуумный пластинчато-роторный насос. С целью предотвращения попадания в рабочий объем паров масла из диффузионного насоса на впускной фланец последнего установлена азотная ловушка (металлическая емкость, в которую заливается жидкий азот). Пары масла, попавшие за пределы диффузионного насоса, конденсируются на охлажденной до азотных температур поверхности ловушки. Переключения в вакуумной системе осуществляют с помощью электромагнитных клапанов и высоковакуумного затвора, закрываемого и открываемого с помощью, расположенной слева от рабочего объема ручки. Для напуска воздуха в рабочий объем служит специальный вентиль-натекатель.

Измерение давления в рабочем объеме осуществляют с помощью двух манометрических ламп – термодатной (форвакуум) и ионизационной (высокий

вакуум). Вакуумная система поста ВУП-1 уверенно обеспечивает создание вакуума в рабочем объеме до  $10^{-5}$  мм. рт. ст.

Структура поверхности покрытия, полученного в указанных условиях представлена на рисунке 1. Микроструктурные исследования выполняли методом электронной растровой микроскопии с использованием энергодисперсионного рентгеновского анализатора JEOL – 6000 NeoScope (EX – 54400T1L11). Результаты рентгеноструктурных исследований представлены на рисунке 1 и таблицах 1 и 2.

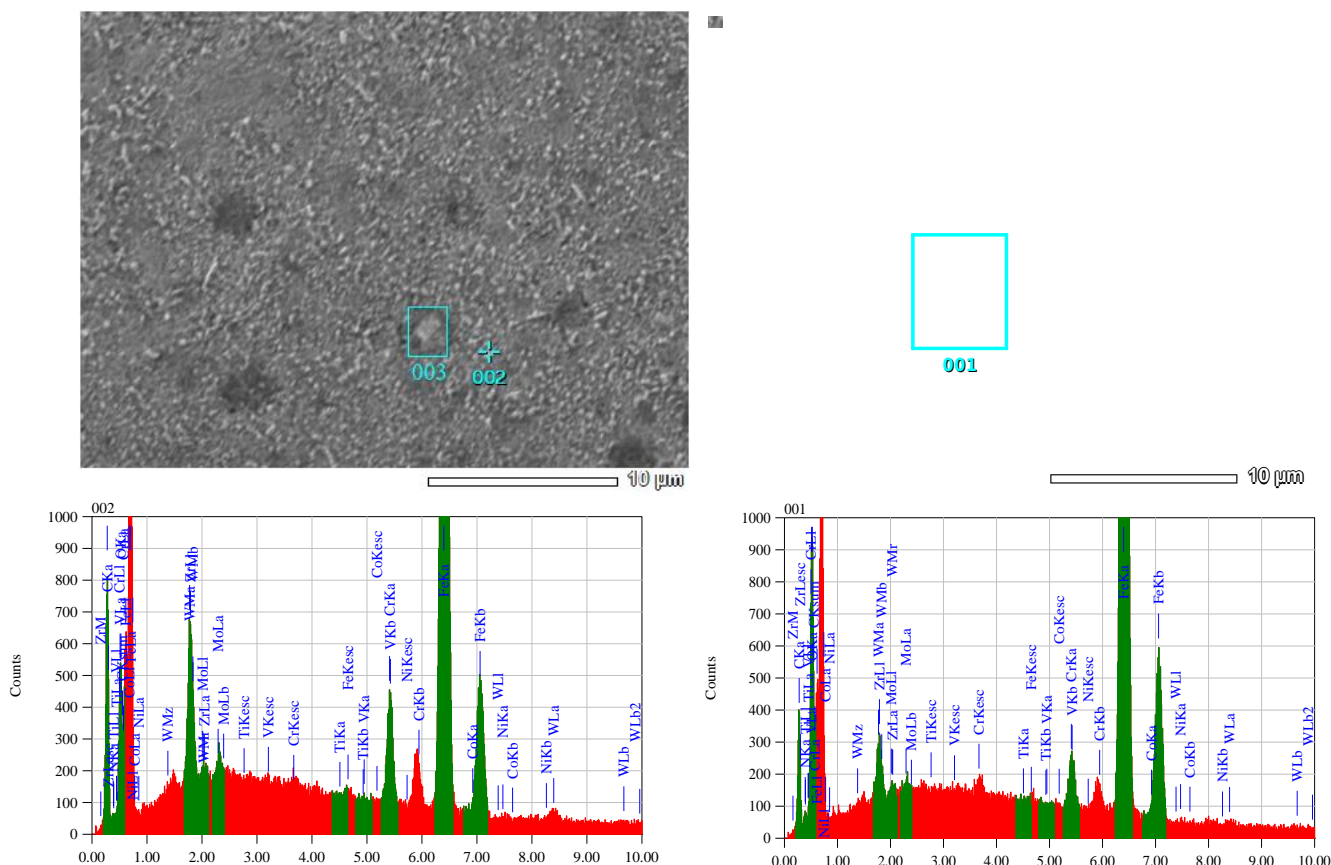


Рисунок 1- Микрорентгеноспектральный анализ поверхностного слоя покрытия

Таблица 1 - Химический состав спектра 002, в % по массе

C	N	Cr	Fe	Ni	Zr	Mo	W
8.64	2.2	5.85	74.38	0.18	0.9	1.54	6.31

Таблица 2 - Химический состав спектра 001, в % по массе

C	N	Cr	Fe	Ni	Zr	Mo	W
3.89	4.34	2.83	85.03	0.15	0.77	0.71	2.28

Структурные исследования поверхности полученного покрытия показали, что в исследуемом объекте наблюдается сложное трехфазное строение.

Металлическая основа представляет собой смесь двух твердых растворов на основе железа (феррита и аустенита) в которых различный состав легирую-

щих элементов (спектры 001 и 002) и обособленную карбидную фазу, (область 003).

В спектре 001, являющимся участком металлической основы покрытия растворены легирующие элементы следующего состава: Cr – 2.83%, W – 2.28%, Zr – 0.77%, Mo – 0.71%, идентифицируемые, как сложные карбидные включения типа  $(Fe;Me)_3C_6$ . Полученное покрытие имеет мелкозернистую структуру с равномерно распределенными мелкими карбидами и характеризуется следующими свойствами: плотность  $6.12 \text{ г/см}^3$ , температура плавления  $1050 \text{ }^\circ\text{C}$ , твердость  $11 \text{ ГПа}$ , модуль Юнга  $400 \text{ кН/мм}^2$ , коэффициент термического расширения  $2.3 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ .

Техника реализации и сущность метода рентгеноспектрального анализа предусматривает определение полного спектра химических элементов в выделенном объеме сплава, однако точный фазовый состав при этом остается неизвестным. Для выявления качественного фазового состава полученного покрытия использовали рентгеновский минидифрактометр МД-10, рисунок 2,3, таблица 3.

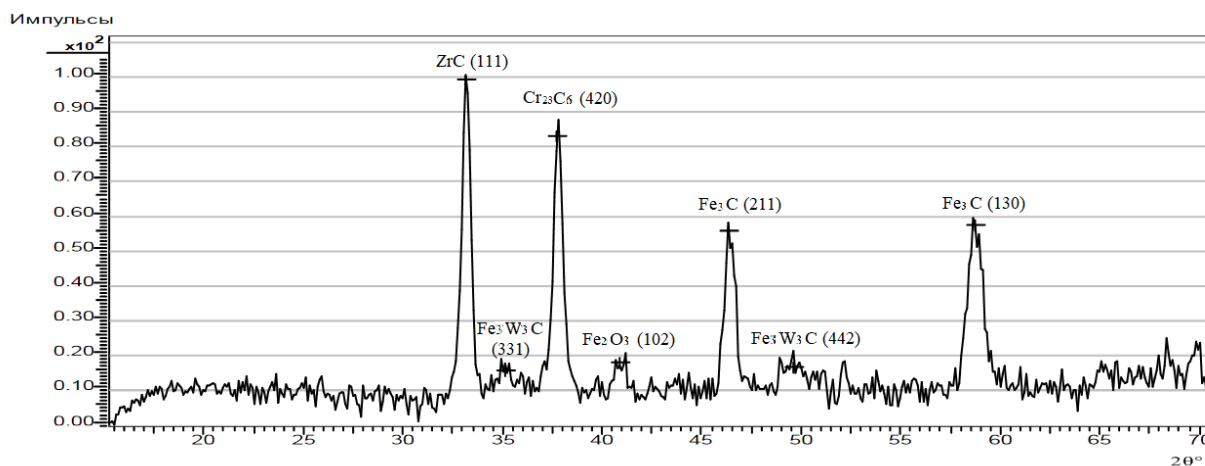


Рисунок 2 – Рентгенограмма покрытия CrN на стали 40X в интервале углов  $2\theta^\circ$  от 0 до 70 град.

Таблица 3 – Кристаллографические характеристики идентифицированных в покрытии фаз

интервал углов $2\theta^\circ$ от 0 до 70 град.					интервал углов $2\theta^\circ$ от 70 до 120 град.				
пик	$2\theta^\circ$	d	HKL	Фаза	пик	$2\theta^\circ$	d	HKL	Фаза
1	33,15	2,7025	111	ZrC	1	83,51	1,15795	221	Fe <sub>2</sub> N
2	35,12	2,5552	331	Fe <sub>3</sub> W <sub>3</sub> C	2	96,25	1,03533	400	VC
3	37,76	2,38248	420	Cr <sub>23</sub> C <sub>6</sub>	3	98,55	1,01721	112	WC
4	40,91	2,20584	102	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4	117,62	0,90113	121	WC
5	46,4	1,95703	211	Fe <sub>3</sub> C					
6	49,65	1,836	442	Fe <sub>3</sub> W <sub>3</sub> C					
7	58,72	1,57242	130	Fe <sub>3</sub> C					

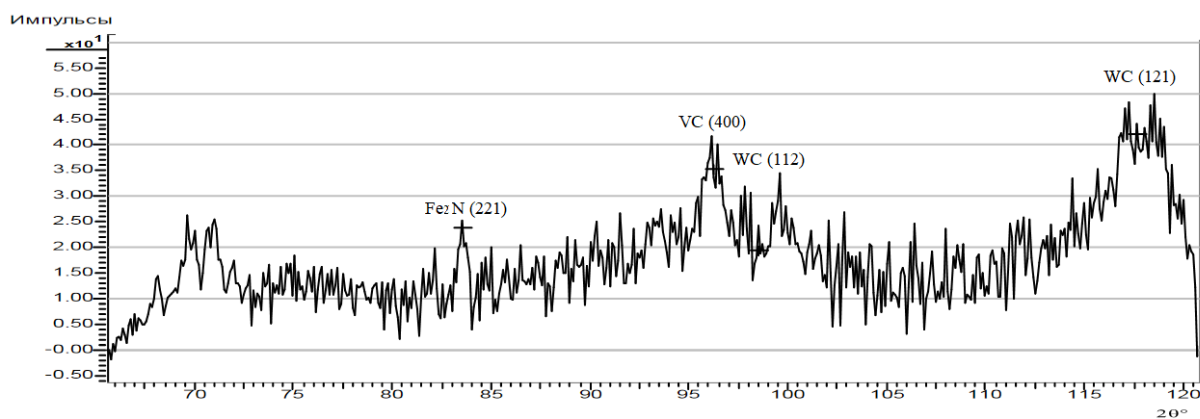


Рисунок 3 – Рентгенограмма покрытия CrN на стали 40X в интервале углов  $2\theta^\circ$  от 70 до 120 град.

Качественный фазовый рентгеноструктурный анализ позволил установить тип карбидных соединений полученного покрытия. Так в матрице сплава на железной основе равномерно распределены специальные карбиды  $ZrC$ ,  $Cr_{23}C_6$ ,  $Fe_3C$ ,  $WC$ ,  $VC$ , и сложные карбидные соединения, идентифицированные как  $Fe_3W_3C$ , позволившие получить твердость поверхности в пределах 10,5 – 11,2 ГПа. Тенденция изменения микротвердости по поверхности полученного покрытия представлена на рисунке 4.

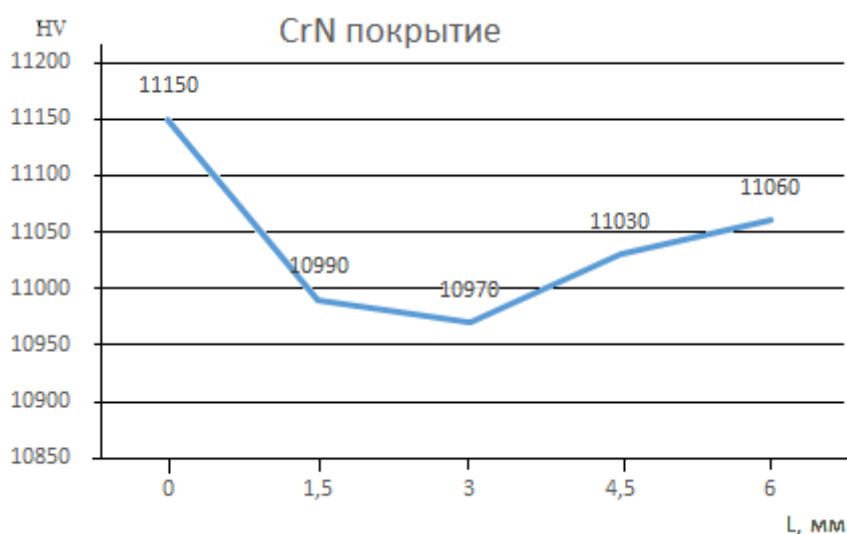


Рисунок 4 -Распределение твердости по поверхности покрытия

Данные распределения микротвердости по поверхности стали с покрытием типа CrN показывают, что экспериментальные значения микротвердости согласуются со справочными литературными данными и результатами подобных исследований в данной области [2]. Однако из графика (рисунок 4) видно, что к центральной части изделия с покрытием наблюдается некоторое занижение микромеханических свойств, обусловленное конструктивными особенностями установки ВУП-1, отсутствием вращения и подогрева подложки в процессе

осаждения покрытия, что учтено и успешно минимизировано в более совершенных устройствах PVD.

С учетом вышеуказанных особенностей метода, проведенные структурные исследования свидетельствуют, что полученное комплексно-легированное покрытие CrN на легированную среднеуглеродистую сталь марки 40X обеспечивает необходимый комплекс свойств на рабочих поверхностях инструмента, не ухудшая характеристик основного металла.

#### *Список литературы*

1. Григорьев С.Н. *Методы повышения стойкости режущего инструмента: учебник для студентов вузов.* – М.: Машиностроение, 2011. – 368 с. – ISBN 978-5-94275-591-1.

2. Бондарь А.В., Смоленцев Е.В. *Криогенно-эрозионное упрочнение металлических изделий // Упрочняющие технология и покрытия.* 2006. №4. С. 17-22.