

В. В. Чаевский, доц., канд. физ.-мат. наук;  
tchaievsky@tut.by

В. В. Жилинский, доц., канд. хим. наук (БГТУ, г. Минск)

## СТРУКТУРА И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ ПОКРЫТИЯ СПЛАВОМ Ni-P

Химически осаждаемые никель-фосфорные покрытия достаточно широко применяются для повышения функциональных свойств деталей из конструкционных сталей: коррозионной стойкости, твердости, износостойкости [1]. Сообщалось, что химические никель-фосфорные покрытия на углеродистой стали при последующем нанесении TiN, обеспечивают увеличение твердости и прочности сцепления с основой, а также повышение коррозионной стойкости низкоуглеродистой стали с покрытием [2].

Целью данной работы было нанесение никель-фосфорного покрытия на поверхность стальных лезвий ножей дереворежущего инструмента и исследование структуры и фазового состава сформированных слоев.

Покрытия сплавом Ni-P осаждались на экспериментальной установке с применением источника постоянного тока марки DC POWER SUPPLY HY3005-3 при средней катодной плотности тока 2 А/дм<sup>2</sup> из электролитов, состав которых представлен в таблице. Время электролиза – 10 минут. Толщина полученных покрытий измерялась с помощью микрометра и не превышала 10 мкм.

Таблица – Состав исследуемых электролитов

Состав электролита №1	Количество, г/л	Состав электролита №2	Количество, г/л
NiSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	200	NiSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	140
NaCl	20	HCl	2
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	20	NH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> COOH	15
Na <sub>2</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>2</sub>	25	NaH <sub>2</sub> PO <sub>2</sub>	4,5
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	15	Сахарин	2
pH	3,0	Лаурилсульфат натрия	0,1
		pH	2,2

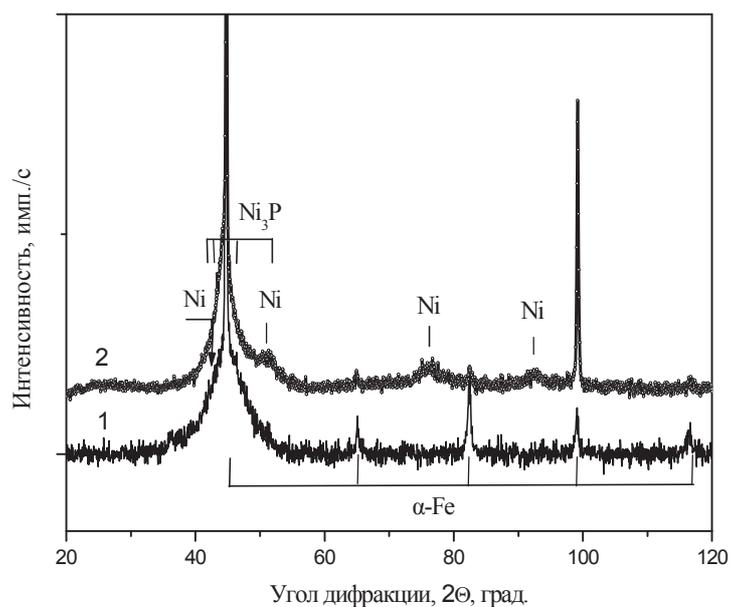
Кислотность (pH) электролита измерялась рН-метром рН-150 с точностью ±0,05%. Уровень кислотности до нужного значения корректировали концентрированной серной кислотой.

Фазовый состав полученных покрытий исследовался методом рентгеноструктурного анализа (РСА) при помощи дифрактометра Ultima IV (Rigaku, Япония) в Cu-K<sub>α</sub> излучении.

Морфология поверхности образцов исследовалась с помощью оптического микроскопа Leica DFC Camera CD Release Notes V 6.4.1

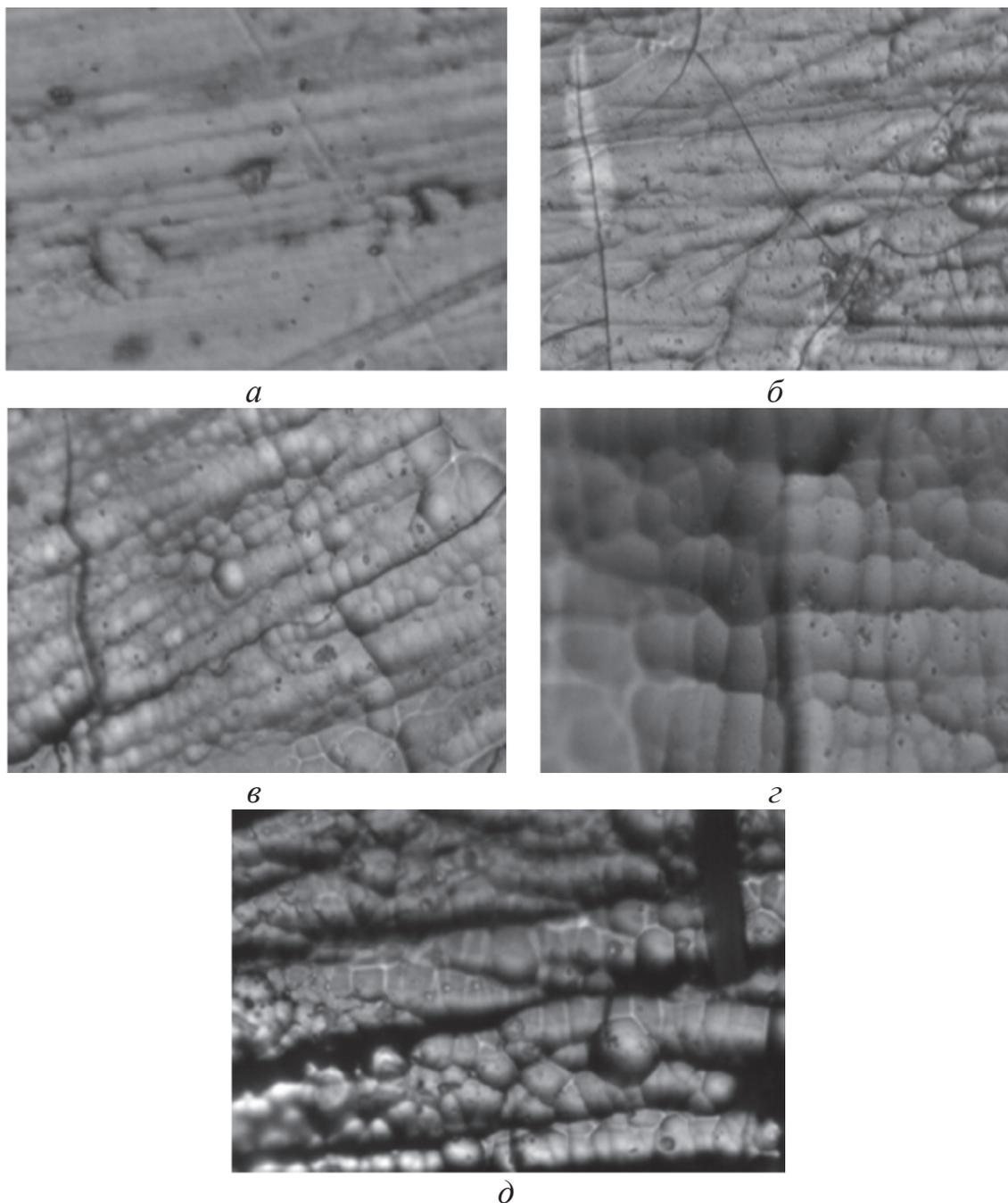
при увеличении 400×, методами растровой электронной микроскопии (РЭМ) и сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) с использованием микроскопа LEO-1455 VP, который также применялся для определения элементного состава полученных покрытий методами СЭМ и рентгеноспектрального микроанализа (РСМА).

Рентгенограммы сформированных покрытий сплавом Ni-P (рис. 1), полученных при различных плотностях тока (7 А/дм<sup>2</sup>, 9 А/дм<sup>2</sup>), показывают широкое галло в области 2θ, равном 35–54°, и наличие отдельных пиков (при плотности тока 7 А/дм<sup>2</sup>). Это свидетельствует о том, что сплавы Ni-P, полученные при плотности тока до 7 А/дм<sup>2</sup>, состоят из отдельных фаз Ni<sub>3</sub>P и Ni. Сплавы Ni-P, сформированные при плотности тока свыше 7 А/дм<sup>2</sup> представляют собой метастабильный однородный твердый раствор внедрения на базе ГЦК решетки Ni, образование которого подтверждается литературными источниками [3].



**Рисунок 1 – Рентгенограммы покрытий Ni-P, полученных при плотностях тока 9 А/дм<sup>2</sup> (1) и 7 А/дм<sup>2</sup> (2)**

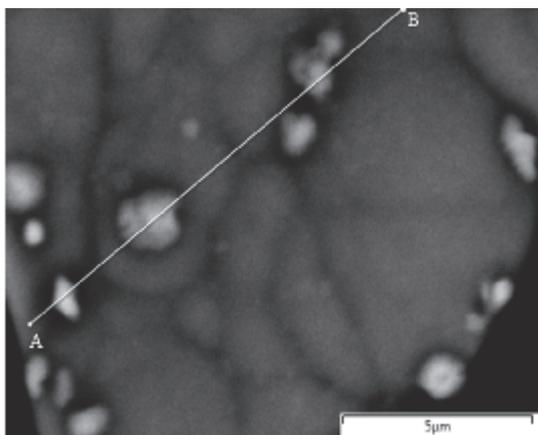
Оптические снимки поверхности покрытий, полученных при различных плотностях тока из электролита № 2, показаны на рисунке 2. Видно, что с увеличением плотности тока шероховатость поверхности возрастает: появляется и увеличивается трещиноватость (рис. 2б, 2в), формируются глобулярные образования (рис. 2в, 2г, 2д).



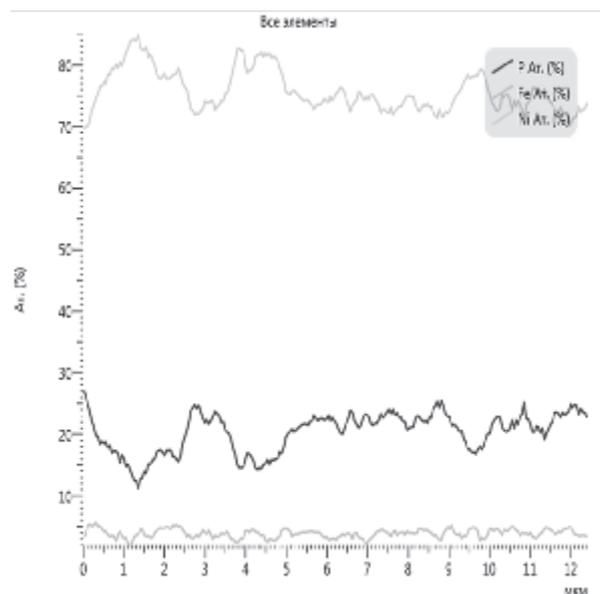
**Рисунок 2 – Оптические снимки поверхности сплава, полученного при плотностях тока 2 А/дм<sup>2</sup> (а), 4 А/дм<sup>2</sup> (б), 5 А/дм<sup>2</sup> (в), 7 А/дм<sup>2</sup> (г), 9 А/дм<sup>2</sup> (д)**

Формирующиеся глобулярные образования, исходя из литературных данных, являются фазой Ni<sub>3</sub>P [4]. При плотности тока более 5 А/дм<sup>2</sup> начинает формироваться покрытие с сплошной глобулярной поверхностью (рис. 2г, 2д).

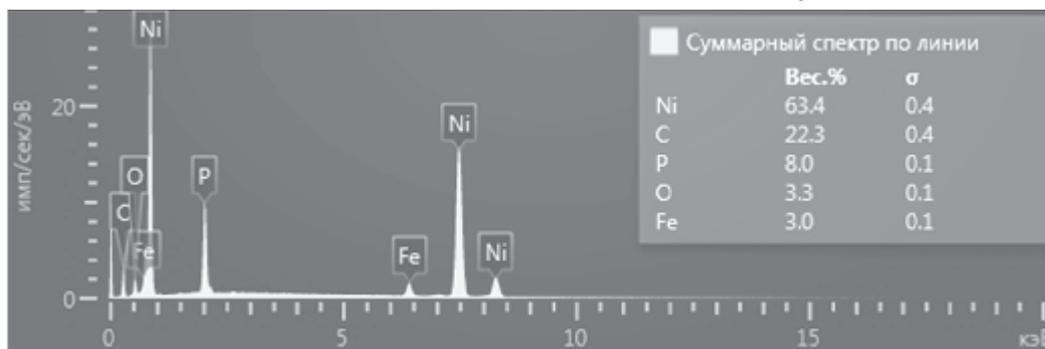
Наличие фазы Ni<sub>3</sub>P подтверждается исследованиями морфологии поверхности покрытий сплавом Ni-P с помощью РЭМ (СЭМ) и РСМА методов (рис. 3).



*a*



*б*



*в*

**Рисунок 3 – СЭМ-снимок поверхности сплава Ni-P (*a*), распределение интенсивностей характеристического рентгеновского излучения элементов (Ni, P, Fe) (*б*) и спектр элементного состава (*в*) при сканировании вдоль линии *AB***

#### ЛИТЕРАТУРА

1 Исследование защитных свойств покрытий нитридом титана на низкоуглеродистой стали и влияния толщины подслоя никель-фосфор / Н. Г. Ануфриев [и др.] // Практика противокоррозионной защиты. – 2008. – №1 (47). – С. 37–43.

2 He, J. L., Hon, M. H. // Surface and Coatings Technology. – 1992. – no 53. – P. 93–98.

3 Магнитные свойства метастабильных фаз внедрения в сплавах  $Ni_{1-x}P_x$  / С. Д. Антипов [и др.] // Вестн. Моск. ун-та. – Сер. 3. Физика. Астрономия. – 1995. – Т. 36. – № 6. – С. 62–69.

4 Юй Фэй. Электроосаждение сплава никель-фосфор из сульфатно-сукцинатно-хлоридных электролитов: диссертация ... кандидат химических наук: 05.17.03 / Юй Фэй, М., 2003. – 185 с.