



ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ NI-P ПОКРЫТИЙ

Вадим ЧАЕВСКИЙ¹, Валерий ЖИЛИНСКИЙ²

Белорусский государственный технологический университет,

Минск, Республика Беларусь

Эл. почта: ¹chaevskiv@gmail.ru; ²zhilinski@yandex.ru

Аннотация. Определены параметры электролитического синтеза из сульфатно-хлоридных электролитов Ni-P покрытий на стальную поверхность. Сплавы Ni-P состоят из отдельных фаз Ni₃P и Ni или представляют собой твердый раствор внедрения на базе ГЦК решетки Ni при осаждении из электролита при плотности тока свыше 7 А/дм². При плотности тока электролита более 5 А/дм² формируется покрытие с сплошной глобулярной поверхностью. Глобулярные образования являются фазой Ni₃P. Покрытия, полученные при плотности тока 9 А/дм², имеют максимальное значение микротвердости 430 HV.

Ключевые слова: покрытия, никель, фосфор, электролит, плотность тока, микротвердость.

Введение

При резании древесностружечных плит (ДСтП) хвостовыми фрезами со стальными ножами высокие температуры, возникающие в поверхностных слоях лезвия ножей (700–800 °С), вызывают уменьшение прочности металла, которое способствует размягчению и размазыванию тонких поверхностных слоев лезвия из стали. Одним из наиболее эффективных способов обработки поверхности лезвий ножей дереворежущих инструментов, существенно увеличивающий их эксплуатационные свойства, является метод конденсации вещества из плазменной фазы в вакууме с ионной бомбардировкой поверхности (КИБ), используемый для осаждения на поверхности лезвий покрытий нитридов тугоплавких металлов Ti, Mo, Zr и др. (Kuleshov *et al.* 2014).

В настоящее время химически осаждаемые никель-фосфорные покрытия достаточно широко применяются для повышения функциональных свойств деталей из конструкционных сталей: коррозионной стойкости, твердости, износостойкости (Ivanov 2001; Tarasov *et al.* 2002). Сообщалось, что химические никель-фосфорные покрытия на углеродистой стали при последующем вакуумно-дуговом осаждении TiN-покрытия, обеспечивают увеличение твердости и прочности сцепления с основой, а также повышение коррозионной стойкости низкоуглеродистой стали с покрытием (He, Hon 1992).

В связи с этим целью работы являлось нанесение гальванических покрытий сплавом Ni-P на поверхность стальных лезвий ножей дереворежущего инструмента и исследование структуры, фазового состава и микротвердости сформированных слоев.

Область исследования

Гальванические покрытия сплавом Ni-P наносили на подготовленную стальную поверхность лезвий ножей на экспериментальной установке с применением источника постоянного тока марки POWER SUPPLY HY3005-3 при силе тока 1 А из электролитов, состав которых представлен в таблице 1. Время электролиза составляло 10 мин. Кислотность (рН) электролита измерялась рН-метром рН-150 с точностью ±0,05%. Уровень рН до нужного значения (4,9–5,0) корректировался концентрированным раствором серной кислоты. Толщина покрытий не превышала 10 мкм.

Фазовый состав полученных покрытий исследовался методом рентгеноструктурного анализа (РСА) при помощи дифрактометра Ultima IV (Rugaku, Япония) в Cu-K_α излучении.

Микротвердость испытуемых покрытий определялась микротвердомером AFFRI – MVDМ8 (Италия) по методу Виккерса с погрешностью ±15 HV при нагрузке 100 г.

Таблица 1. Химический состав электролитов для осаждения Ni-P покрытия

Table 1. The chemical composition of electrolyte for the deposition of Ni-P coating

1 lentelė. Nusodinamos Ni-P dangos elektrolito cheminė sudėtis

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

Морфология поверхности образцов исследовалась с помощью оптического микроскопа Leica DFC Camera CD Release Notes V6.4.1 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 микро-анализа (РСМА).

Рентгенограммы сформированных покрытий сплавом Ni-P (рис. 1), полученных при различных плотностях тока (7 А/дм², 9 А/дм²), показывают широкое галло в области 2θ, равном 35–54°, и наличие отдельных пиков (при плотности тока 7 А/дм²). Это

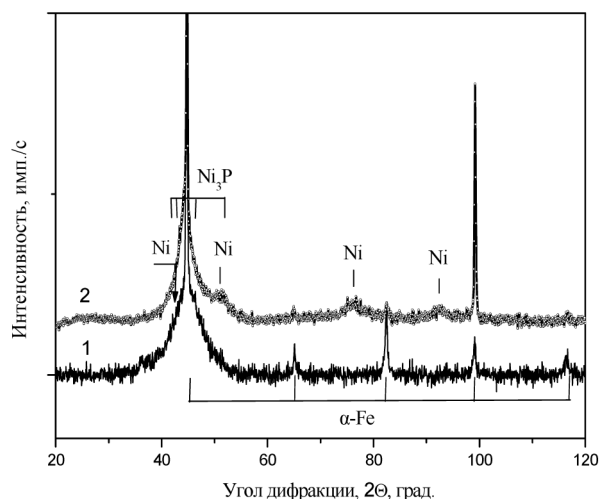
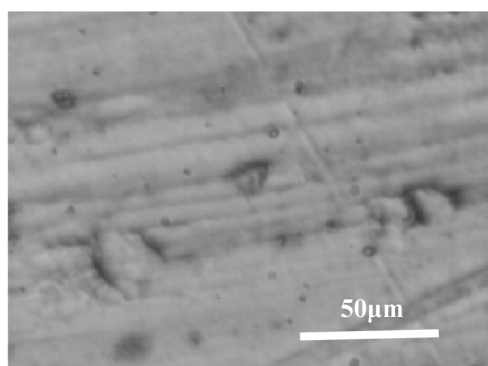


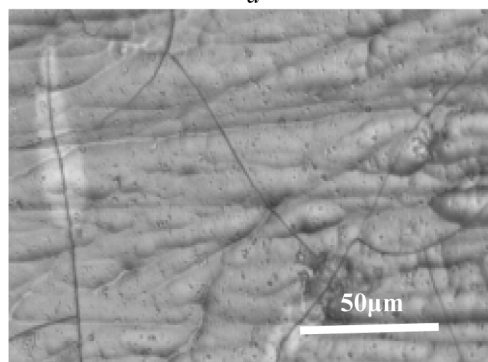
Рис. 1. Рентгенограммы покрытий Ni-P, полученных при плотностях тока 9 А/дм² (1) и 7 А/дм² (2)

Fig. 1. The XRD patterns of Ni-P coating, obtained at current densities 9 A/dm² (1) and 7 A/dm² (2)

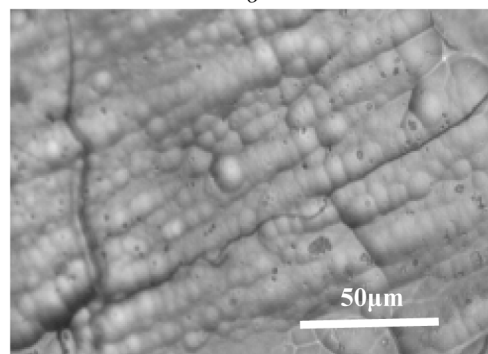
1 pav. Ni-P dangų XRD spektrai: 1 – kai srovės tankis 9 A/dm², 2 – kai srovės tankis 7 A/dm²



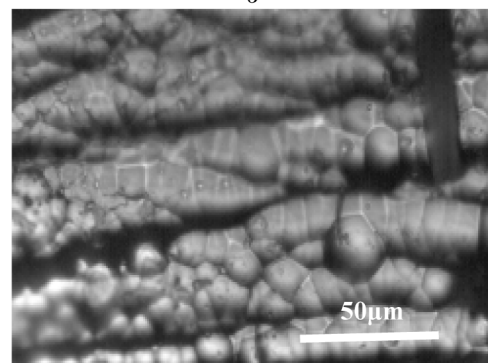
a



б



в



г

Рис. 2. Оптические снимки поверхности покрытий Ni-P, полученного при плотностях тока 2 А/дм² (а), 4 А/дм² (б), 5 А/дм² (в), 9 А/дм² (г), x400

Fig. 2. The topography of the surface of Ni-P coating obtained at current densities 2 A/dm² (a), 4 A/dm² (б), 5 A/dm² (в) and 9 A/dm² (г), x400

2 pav. Ni-P dangų paviršiaus topografija: a – kai srovės tankis 2 A/dm², б – kai srovės tankis 4 A/dm², в – kai srovės tankis 5 A/dm² ir г – kai srovės tankis 9 A/dm², x400

свидетельствует о том, что сплавы Ni-P, полученные при плотности тока до 7 А/дм², состоят из отдельных фаз Ni₃P и Ni. Сплавы Ni-P, сформированные при плотности тока свыше 7 А/дм², представляют собой метастабильный однородный твердый раствор внедрения на базе ГЦК решетки Ni, образование которого подтверждается литературными источниками (Antipov *et al.* 1995).

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

Формирующиеся глобулярные образования, исходя из литературных данных, являются фазой Ni₃P (Yuu Feу 2003). При плотности тока более 5 А/дм² начинает формироваться покрытие с сплошной гло-

булярной поверхностью (рис. 2г), что можно объяснить увеличением содержания фосфора в осадке. Так же можно сделать вывод о том, что чем больше фосфора в осадке, тем больший размер имеют глобулы.

Наличие фазы Ni₃P подтверждаются исследованиями морфологии поверхности покрытий сплавом Ni-P с помощью РЭМ (СЭМ) и РСМА методов (рис. 3).

Микротвердость покрытий, полученных в электролитах № 1 и № 2, незначительно отличается друг от друга. Максимальное значение микротвердости 430 НV имеют покрытия, полученные в электролите № 2 при плотности тока 9 А/дм². Результаты измерения зависимости микротвердости покрытий, полученных в электролите № 2, от плотности тока представлены в таблице 2.

На основании анализа данных таблицы 2, можно сделать вывод, что с увеличением плотности тока микротвердость полученных покрытий возрастает.

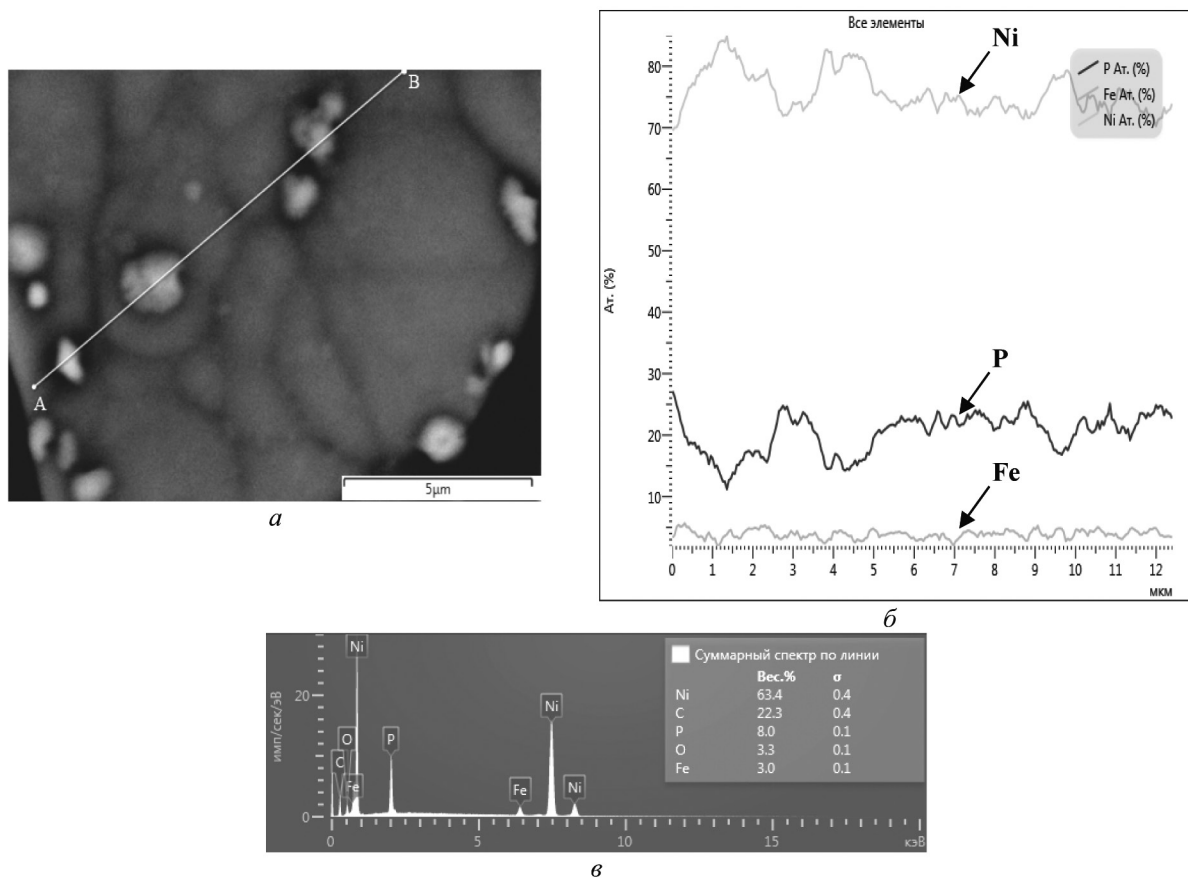


Рис 3. СЭМ-снимок поверхности покрытия Ni-P (а), распределение интенсивностей характеристического рентгеновского излучения элементов (Ni, P, Fe) (б) и спектр элементного состава (в) при сканировании вдоль линии АВ

Fig. 3. The SEM microstructure of the Ni-P coating (a), the line X-ray microanalysis of chemical elements (Ni, P, Fe) (б) and the sum chemical composition when scanning along the line AB (в)

3 pav. Ni-P dangos SEM mikrostruktūra (a), cheminių elementų (Ni, P, Fe) linijinė rentgeno mikroanalizė (б) ir AB linijos išilginio skenavimo suminė cheminė sudėtis (в)

Таблица 2. Результаты исследования влияния плотности тока на микротвёрдость осажденного из электролита № 2 покрытия Ni-P

Table 2. The influence of current density on microhardness of Ni-P coating, deposited by the electrolyte No 2

2 lentelė. Ni-P dangos (nusodintos iš elektrolito Nr. 2) mikrokietumo tyrimų rezultatai

i , A/dm ²	Микротвёрдость, HV		HV _{cp}
	Образец № 1	Образец № 2	
1	240	270	255
2	270	289	280
4	284	295	289
5	324	307	316
6	358	367	362
7	397	423	410
8	401	405	403
9	426	434	430

Выводы

Разработана технология нанесения гальванических покрытий никель-фосфор для упрочнения поверхности лезвий стальных ножей дереворежущего инструмента. Фазовый состав и микротвёрдость полученных покрытий зависит от плотности тока в электролите. Экспериментально показано осаждение сплошных покрытий Ni-P при плотности тока более 5 A/dm² в виде глобулярных структур. Установлено, что свежесаждаемые покрытия сплавом никель-фосфор состоят из пересыщенного твердого раствора фосфора в никеле. Полученные при этих условиях гальванические покрытия сплавом Ni-P обладают микротвёрдостью 430 HV.

Литература

- Antipov, S. D., et al. 1995. Magnitnye svoystva metastabil'nykh faz vnedreniya v splavakh Ni_{1-x}P_x, *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 3. Fizika. Astronomiya* 36(6): 62–69.
- He, J. L.; Hon, M. H. 1992. Corrosion protection of TiN-coated low carbon steel with electroless Ni-P as an interlayer, *Surface and Coatings Technology* 53(1): 93–98. [http://dx.doi.org/10.1016/0257-8972\(92\)90108-M](http://dx.doi.org/10.1016/0257-8972(92)90108-M)
- Ivanov, M. V. 2001. Khimicheski osazhdennye nikel'-bor-fosforne pokrytiya. *Zashchitnye i funktsional'nye svoystva, Zashchita metallov* 37(6): 654–658.

Kuleshov, A. K.; Uglov, V. V.; Rusalsky, D. P.; Grishkevich, A. A.; Chayevski, V. V.; Haranin, V. E. 2014. Effect of ZrN and Mo-N coatings and sulfacyanization on wear of wood-cutting knives, *Journal of Friction and Wear* 35(3): 201–209. <http://dx.doi.org/10.3103/S1068366614030076>

Tarasov, A. N.; Tilipalov, V. N.; Peretyatko, S. B. 2002. Izgotovlenie shlifoval'nogo instrumenta plazmenno-dugovym napyleniem, *Svarochnoe proizvodstvo* 12: 35–38.

Yuy Fey. 2003. *Elektroosazhdenie splava nikel'-fosfor iz sul'fatno-suktsinatno-khlordnykh elektrolitov*: dissertatsiya kandidata khimicheskikh nauk: 05.17.03. Rossiyskiy khimiko-tehnologicheskii universitet imeni D. I. Mendeleeva, Moskva. S. 185.

THE INVESTIGATION OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF NI-P COATINGS

V. Chayevski, V. Zhylinski

Abstract

The parameters of electrolytic synthesis of Ni-P coatings on steel surface from sulfate-chloride electrolyte have been determined. The Ni-P alloys consist of separate phases of Ni and Ni₃P and solid solution of implementation on the basis of the FCC Ni lattice, when it was deposited from the electrolyte at current density to be more than 7 A/dm². The coating was formed with continuous globular surface at current density of 5 A/dm². The globular formations are the Ni₃P phase. The obtained at current density of 9 A/dm² coatings have maximum value of microhardness 430 HV.

Keywords: coatings, nickel, phosphorus, electrolyte, current density, microhardness.

NI-P DANGŲ FIZIKINIŲ IR MECHANINIŲ SAVYBIŲ TYRIMAS

V. Chayevski, V. Zhylinski

Santrauka

Darbe buvo nustatyti Ni-P dangų ant plieno paviršiaus elektrolitinės sintezės (iš sulfatinio-chloridinio elektrolito) parametrai. Ni-P lydinių mikrostruktūrą sudaro atskiros Ni ir Ni₃P fazės arba nikelio kietasis įterpimo tirpalas, turintis kubinę paviršiaus centruotą gardelę, kai dangos yra nusodinamos iš elektrolito, esant srovės tankiui daugiau negu 7 A/dm². Kai srovės tankis yra daugiau negu 5 A/dm², formuojasi ištisinis, rutulinio pobūdžio dangos paviršius. Rutulio formos darinius sudaro Ni₃P fazė. Dangos, turinčios didžiausią mikrokietumo reikšmę 430 HV, gautos esant srovės tankiui 9 A/dm².

Reikšminiai žodžiai: dangos, nikelis, fosforas, elektrolitas, srovės tankis, mikrokietumas.