

Машиностроение и машиноведение

УДК 621.923

DOI: 10.30987/1999-8775-2021-12-12-18

В.А. Скрыбин

ВЛИЯНИЕ ПОКРЫТИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ НА ИХ ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ

Проведены исследования по нанесению никель-фосфорного покрытия на поверхности деталей из алюминиевых сплавов и предварительной финишной обработки под покрытие. Выбраны параметры, влияющие на скорость осаждения никель-фосфорного сплава и режимы обработки поверхности детали под покрытие. Проведено планирование эксперимента, которое дало возможность отработать оптимальные режимы осаждения и состав покрытия для получения основных высоких показате-

лей качества его поверхности – шероховатости и износостойкости. Целью статьи является постановка многофакторного эксперимента при исследовании влияния покрытия на износостойкость деталей из цветных металлов и сплавов при их производственной эксплуатации.

Ключевые слова: покрытие, обработка, планирование, эксперимент, износостойкость, детали, цветные металлы и сплавы.

V.A. Skryabin

THE COATING INFLUENCE OF PARTS MADE OF NON-FERROUS METALS AND ALLOYS ON THEIR WEAR RESISTANCE

The paper gives the results of the studies on applying nickel-phosphorus coating on the surface of aluminum alloy parts and pre-finishing treatment for coating. The parameters affecting the deposition rate of the nickel-phosphorus alloy and the modes of surface treatment of the part for coating are selected. The work objective is to set up a multifactorial experiment for the study of the coating influence on the wear resistance of aluminum alloy parts during their operation in production conditions.

The task to which the paper is devoted is to conduct research on the influence of technological modes on the wear resistance of the coating.

The experiment was planned, which made it possible to work out the optimal deposition modes and the coating composition to obtain the main high quality indicators of its surface, i.e. roughness and wear resistance. It has been experimentally established that with an increase in the concentration of hypophosphite (sodium alkali metal salt and phosphoric acid), the rate of coating formation slightly increases. Experimental studies have been carried out on the wear resistance of samples with nickel-phosphorus coating and without

this coating. It is shown that the coatings applied by chemical nickel plating to the samples provide higher wear resistance under friction conditions with lubrication compared to the uncoated samples. The main provisions of chemical coating technology and mechanical engineering technology are used in the work.

The novelty of the work consists in obtaining mathematical dependencies for working out optimal modes of deposition of nickel-phosphorus coating on the parts surface. Single-factor studies of polishing samples with felt grinding wheels with abrasive material applied to their surfaces using an adhesive bundle at polishing modes $v = 20$ m/s, $t = 0.01$ mm, $S = 0.001$ mm/rev, $p = 0.18$ MPa. Made it possible to obtain the roughness parameters of the base material in the range of $R_a = 0.32 \dots 0.08$ microns, which contributed to an increase in the adhesion strength of the base material with nickel coating.

Key words: coating, treatment, planning, experiment, wear resistance, parts, nonferrous metals and alloys.

Введение

Химическое никелирование достаточно широко внедряется в технологию нанесения покрытий за счет высоких показателей качества покрытия на основе никеля [1-4].

Химическое никелирование осуществляется более просто и эффективно по сравнению с электрохимическим никелированием и менее энергетически затратно.

Кроме того, покрытие, получаемое при нанесении никеля химическим способом, показало хорошую сцепляемость с материалом основы изделия.

Материалы и методика исследований

В статье использованы основные положения технологии нанесения никель-фосфорного сплава, а также технологии машиностроения в плане экспериментов по финишной обработке поверхности детали до нанесения покрытия. Для изучения воздействия параметров технологического процесса никелирования на характер образования покрытия была использована использована методика многофакторного планирования результатов исследований и проведены соответствующие эксперименты [5-8].

Поэтому задача исследования химического никелирования деталей из алюминиевых сплавов является весьма актуальной.

Никель-фосфорный сплав имеет следующие показатели:

- 1) толщина покрытия – от 10 до 150 мкм;
- 2) равномерность толщины – отклонение не более $\pm 0,2$ мкм;
- 3) полная идентификация формы детали;

Равномерность толщины гетерогенного никель-фосфорного покрытия по видимому связана с его равномерной мелкокристаллической структурой, состоящей из частиц правильной формы (ограниченной или округлой).

Результаты исследования и обсуждение полученных результатов

Эксперименты проводились на образцах из сплава алюминия марки Ал25 размерами 20×20 мм и толщиной 2 мм, которые предварительно шлифовались мягкими (войлочными) шлифовальными кругами до значения параметра шероховатости $R_a = 0,16$ мкм. На круги наносилась клеевая связка с абразивным материалом марки 15А (электрокорунд нормальный) зернистостью 6...4 ($F 180 \dots F 220$). Режимные параметры полирования определялись в процессе проведения натурных экспериментов: $V = 20$ м/с – скорость вращения войлочного круга, м/с. Глубина резания t и поперечная подача круга S принимались следующими: $t = 0,01$ мм и $S = 0,001$ мм/об. Давление круга на деталь соответствовало величине $p = 0,18$ МПа. Проведенные однофакторные исследования полирования образцов войлочными шлифовальными кругами с нанесенным на их поверхности абразивным материалом с помощью клеевой связки при режимах по-

лирования $V = 20$ м/с, $t = 0,01$ мм, $S = 0,001$ мм/об, $p = 0,18$ МПа позволили получить параметры шероховатости материала основы в диапазоне $R_a = 0,32 \dots 0,08$ мкм, что способствовало увеличению прочности сцепления (адгезии) материала основы с никелевым покрытием. Для повышения прочности сцепления химического никеля с поверхностью из алюминиевого сплава была проведена двойная цинкатная обработка. Далее на поверхность образцов в ванне с подогретым до 90° раствором химическим путем осаждался никель-фосфорный сплав [5-8]. Определяющими параметрами никель-фосфорного раствора, были: концентрация хлористого никеля и гипофосфита натрия, температура и водородный показатель раствора. Вышеуказанные параметры экспериментов являлись исходными данными для создания регрессионного уравнения в кодовых переменных:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{14}x_1x_4 + b_{23}x_2x_3 + b_{24}x_2x_4 + b_{34}x_3x_4 + b_{123}x_1x_2x_3 + b_{124}x_1x_2x_4 + b_{134}x_1x_3x_4 + b_{1234}x_1x_2x_3x_4. \quad (1)$$

В табл. 1: x_1 - процентное содержание хлористого никеля в растворе, г/л; x_2 - процентное содержание гипофосфита, г/л;

x_3 - температура раствора, °C; x_4 - pH раствора (водородный показатель или мера кислотности).

Таблица 1

Уровни и интервалы варьирования факторов

Уровни факторов	Факторы			
	x_1	x_2	x_3	x_4
Основной	30	20	75	5
Интервал варьирования	60	20	50	2
Верхний	90	30	100	6
Нижний	30	10	50	4

В табл. 2 приведена матрица планирования эксперимента: x_3 (30°C) = -1; x_3 (90°C) = 1.

Таблица 2

Матрица планирования экспериментов

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
x_1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1
x_2	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1
x_3	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1
x_4	1	1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
y	15	17	18	19	1,5	1,8	1,8	2	10	11	1,8	12	7,5	8	8	6

Экспериментально полученные значения y являются средними из трех параллельных экспериментов. Полученные ве-

личины y , т.е скорости осаждения, приведены в табл. 3.

Таблица 3

Скорость осаждения сплава

$y_1 = 15$	$y_5 = 1,5$	$y_9 = 10$	$y_{13} = 7,5$
$y_2 = 17$	$y_6 = 1,8$	$y_{10} = 11$	$y_{14} = 8$
$y_3 = 18$	$y_7 = 1,8$	$y_{11} = 1,8$	$y_{15} = 8$
$y_4 = 19$	$y_8 = 2$	$y_{12} = 12$	$y_6 = 6$

Результаты исследований были обработаны с помощью программного продукта *MathCad15*, в результате чего были получены коэффициенты пропорциональности регрессионного уравнения, зависящие от условий осаждения никель-фосфорного сплава.

После определения коэффициентов пропорциональности была определена их значимость по критерию Стьюдента.

Окончательно регрессионное уравнение может быть представлено в следующем виде:

$$y = 8,775 - 0,825x_1 + 0,2x_2 + 4,2x_3 + 0,758x_4 + 0,35x_{12} - 0,675x_{123} \quad (2)$$

Сравнение табличного ($F_{\text{табл}} = 8,96$) и расчетного ($F_{\text{расч}} = 7,38$) значений критерия Фишера показало, что вышеприведенную математическую модель можно считать

адекватной с доверительной вероятностью 95 %. Декодируя переменные параметры, получим:

$$x_1 = \frac{(C_{NiCl_2} - 30)}{30}, \quad x_2 = \frac{(C_{NaH_2PO_2} - 20)}{10},$$

$$x_3 = \frac{(t - 75)}{25}, \quad x_4 = pH - 5. \quad (3)$$

В результате получим действительную модель вида:

$$V = 8,775 - 0,825 \frac{(C_{NiCl_2} - 30)}{30} + 0,2 \frac{(C_{NaH_2PO_2} - 20)}{10} + 4,2 \frac{(t - 75)}{25} + 0,758(pH - 5) +$$

$$+ 0,35 \frac{(C_{NiCl_2} - 30)}{30} \frac{(C_{NaH_2PO_2} - 20)}{10} - 0,675 \frac{(C_{NiCl_2} - 30)}{30} \frac{(C_{NaH_2PO_2} - 20)}{10} \frac{(t - 75)}{25} =$$

$$-7,142 - 0,00535C_{NiCl_2} - 0,0049C_{NaH_2PO_2} + 0,758pH + 0,16t + 0,00058C_{NiCl_2}C_{NaH_2PO_2}.$$

Регрессионное уравнение описывает воздействие технологических факторов на скорость осаждения покрытия.

На основании планирования экспериментов построены графические зависимости, приведенные на рис. 1, 2. Установлено, что при увеличении концентрации

гипофосфита (соль щелочного металла натрия и фосфорноватистой кислоты) в диапазоне 5...10 г/л скорость образования покрытия вначале увеличивается, а при концентрации более 50 г/л уменьшается (рис. 1).

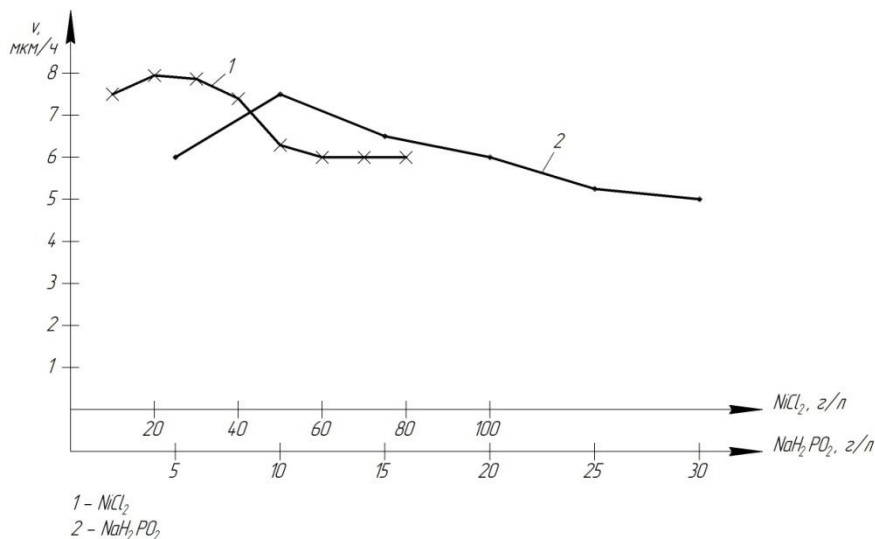


Рис. 1. Влияние процентного содержания хлористого никеля в растворе (кривая 1) и гипофосфита натрия (кривая 2) на скорость осаждения сплава $Ni-P$

Увеличение концентрации никелевой соли свыше 30 г/л уменьшает скорость осаждения сплава никель-фосфор ($Ni-P$). Это объясняется по-видимому тем, что за счет подкисления раствора в процессе осаждения pH снижается, что уменьшает

скорость осаждения раствора ($Ni-P$). Определяющим фактором процесса химического никелирования температура при осаждении раствора. Из рис. 2 следует, что процентное содержание хлористого никеля в растворе увеличивается с повышением температуры, а в растворах при темпера-

туре 88...90 °С, достигает максимума. Значительное влияние на процесс восстановления химического никеля также оказывает кислотность раствора. В процессе никелирования происходит самопроизвольное подкисление раствора. Наилучшие резуль-

таты в отношении скорости восстановления никеля и качества покрытия получаются при pH в диапазоне 4,5...5,0 (рис. 2) [13-16].

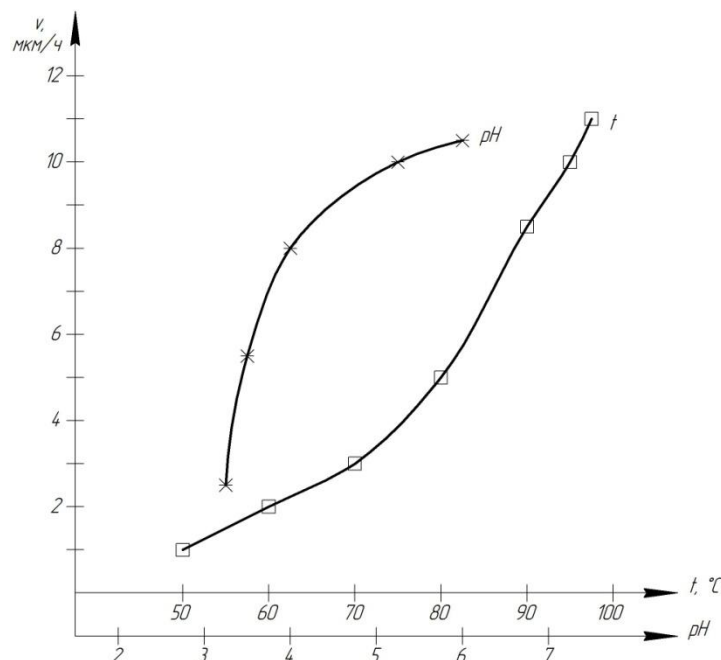


Рис. 2. Влияние процентного содержания хлористого никеля в растворе (кривая 1) и гипофосфита натрия (кривая 2) на скорость осаждения сплава (Ni-P)

Были проведены эксперименты по износостойкости пар трения «Ал25 – Ал25» и «Ал25 – покрытие (Ni-P)», полученных из щелочного раствора и подвергшихся термообработке в течение 1 ч при 200 °С. Микротвердость образца после термообработки соответствовала значению $H_{\mu} = 1500$ МПа. Толщина никель-фосфорного покрытия (Ni-P) составляла 0,1...0,15 мм.

Образцы при испытании базировались и крепились в приспособлении, которое вместе со столом специального устройства совершало возвратно-поступательные движения относительно верхнего образца из алюминиевого сплава марки Ал25, давящего на нижний образец из алюминиевого сплава с покрытием никель-фосфор (Ni-P) с нагрузкой около 1 Н. Весовой износ определяли по проявлению основы. Сила трения определялась при помощи граммометра модели Г10-5, а

коэффициент трения рассчитывался по зависимости (4):

$$f = F/p, \quad (4)$$

где F – сила трения, Н; p – нагрузка, Н.

Сначала испытывался образец без покрытия никель-фосфор (Ni-P). При нагрузке на контакт 0,98 Н и силе трения $F = 0,137$ Н коэффициент трения f был равен 0,14, а износ составлял 2,3 мг. При испытании образца с покрытием коэффициент трения составил 0,12 ($F = 0,115$ Н), а износ составил 1,5 мг. Результаты экспериментальных исследований показали, что при применении для смазки масла марки АМГ-10 износ нижнего алюминиевого образца в паре трения «Ал25–Ал25 с покрытием (Ni-P)» почти в 1,5 раз меньше, чем при трении с образцом из сплава «Ал25» без покрытия [5-8].

Заключение

Проведенные однофакторные исследования полирования образцов войлочными шлифовальными кругами с нанесенным на их поверхности абразивным материалом с помощью клеевой связи при режимах полирования $V=20$ м/с, $t=0,01$ мм, $S=0,001$ мм/об, $p=0,18$ МПа. позволили получить параметры шероховатости материала основы в диапазоне $R_a = 0,32...0,08$ мкм, что способствовало увеличению прочности сцепления (адгезии) материала основы с никелевым покрытием. Экспериментально установлено, что при увеличении концентрации гипофосфита скорость образования покрытия несколько

возрастает. Наилучшие результаты в отношении скорости восстановления никеля и качества покрытия получаются при pH до 4,5...5,0. Показано, что покрытия, нанесенные химическим никелированием на образцы, обеспечивают более высокую износостойкость в условиях трения со смазкой по сравнению с образцами без покрытия. Равномерность гетерогенного никелевого покрытия очевидно связана с его равномерной мелкокристаллической структурой, которая состоит из частиц правильной формы (ограниченной или округлой) [5-8].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Скрябин, В. А.** Физико-механические свойства гальванических хромовых покрытий на стальной основе деталей / В. А. Скрябин // *Технология металлов*. - 2015. - № 10. - С. 43 - 47.
2. **Скрябин, В. А.** Формирование поверхностей деталей их алюминиевых сплавов с покрытием никель-рений-фосфор / В. А. Скрябин // *Все материалы. Энциклопедический справочник*. - 2017. - №1. - С.31-37.
3. **Схиртладзе, А. Г.** Совершенствование технологии никелирования деталей из алюминиевых сплавов / А. Г. Схиртладзе, Н. Я. Карасев, М. А. Рейес Альмейда // *Технология металлов*. - 2015. - №8. - С. 39-42.
4. **Зверовщиков, В. З.** Динамические характеристики уплотненной массы рабочей загрузки при объемной центробежной обработке деталей / В. З. Зверовщиков, А. Е. Зверовщиков // *Известия высших учебных заведе-*

ний. Поволжский регион. Технические науки, - 2016. - №1. - С.140-150.

5. **Зверовщиков, А. Е.** Многофункциональная центробежно-планетарная обработка / А. Е. Зверовщиков // *Монография*. - М.: Изд-во «Инфра-М», 2016. - 176 с.
6. **Skriabin, V. A.** Physicomechanical properties of galvanic chromium coatings on steel parts / V. A. Skriabin // *Russian Metalurgy (Metally)*. - 2016. - Vol. 2016. - Iss.13. - Pp. 1271-1274.
7. **Skriabin, V. A.** Treatment of Products of Polymeric Materials / V. A. Skriabin // *Polimer Science, Series D*. - 2016. - Vol. 9. - Pp.331-337.
8. **Скрябин, В. А.** Изучение физико-механических свойств никель-фосфорных покрытий / В. А. Скрябин // *Все материалы. Энциклопедический справочник*. - 2019. - №1. - С.38-42.

1. **Skryabin, V.A.** Physical and mechanical properties of electroplated chrome coatings on steel-based parts / V.A. Skryabin // *Technologiya Metallov*. - 2015. - no. 10. - pp. 43 - 47.
2. **Skryabin, V.A.** Formation of surfaces of parts and their aluminium alloys with nickel-rhenium-phosphorus coating / V.A. Skryabin // *Vse Materiali. Encyclopedic reference*. - 2017. - no.1. - pp.31-37.
3. **Ckhitaladze, A.G.** Improving the technology of nickel plating of aluminium alloy parts / A.G. Ckhitaladze, N.Ya. Karasev, M.A. Reis Almeida // *Technologiya Metallov*. - 2015. - no.8. - pp. 39-42.
4. **Zverovshchikov, V.Z.** Dynamic characteristics of the compacted mass of working load during volumetric centrifugal machining of parts / V.Z. Zverovshchikov, A.E. Zverovshchikov // *University*

proceedings. Volga region. Technical sciences. - 2016. - no.1. - pp.140-150.

5. **Zverovshchikov, A.E.** Multifunctional centrifugal planetary processing / A.E. Zverovshchikov // *Monograph*. - Moscow: Publishing House Infra-M, 2016. - 176 p.
6. **Skryabin, V. A.** Physicomechanical properties of galvanic chromium coatings on steel parts / V. A. Skryabin // *Russian Metalurgy (Metally)*. - 2016. - Vol. 2016. - Iss.13. - Pp. 1271-1274.
7. **Skryabin, V. A.** Treatment of Products of Polymeric Materials / V. A. Skryabin // *Polimer Science, Series D*. - 2016. - Vol. 9. - Pp.331-337.
8. **Skryabin, V. A.** Study of physical and mechanical properties of nickel-phosphorus coatings / V.A. Skryabin // *Vse Materiali. Encyclopedic reference*. - 2019. - no.1. - pp.38-42.

Ссылка для цитирования:

Скрябин, В.А. Влияние покрытия деталей из цветных металлов и сплавов на их износостойкость / В.А. Скрябин // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2021. - № 12. – С. 4 - 12 . DOI: 10.30987/1999-8775-2021-12-12-18.

Статья поступила в редакцию 13.07.21.

Рецензент: д.т.н., профессор Брянского государственного технического университета

Шалыгин М.Г.,

член редсовета журнала «Вестник БГТУ».

Статья принята к публикации 29.11.21.

Сведения об авторах:

Скрябин Владимир Александрович, д.т.н., профессор Пензенского государственного университета, e-mail: vs_51@list.ru.

Skryabin Vladimir Aleksandrovich, Doctor of Technical Sciences, Professor of Penza State University, e-mail: vs_51@list.ru.