



# Акционерное общество «КОМПОЗИТ»

Пионерская ул., д. 4, г. Королёв, Московская область,  
Россия, 141070

Телеграф БЕРЕЗА

тел. (495) 513-20-28, 513-23-29  
канцелярия 513-22-56, факс (495) 516-06-17  
e-mail: [info@kompozit-mv.ru](mailto:info@kompozit-mv.ru)

ОКПО 56897835, ОГРН 1025002043813, ИНН / КПП 5018078448 / 501801001

22.03.2023 исх. № 0322-К09

на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

## ОТЗЫВ

официального оппонента Логачёвой Аллы Игоревны  
на диссертацию Полухина Дмитрия Сергеевича «Структура и свойства  
композитного никель-фосфорного покрытия, термообработанного по разным  
режимам», представленной на соискание ученой степени кандидата  
технических наук по специальности 2.6.1 – Металловедение и термическая  
обработка металлов и сплавов

### Актуальность темы диссертации

Повышение ресурса и качества ответственных узлов и механизмов оборудования, применяемого для транспортировки нефти и газа, является стратегической задачей Российской Федерации. С развитием новой техники возрастают требования к сроку службы оборудования, предназначенного для эксплуатации в условиях воздействия нагрузок и агрессивной среды, что приводит к необходимости существенного повышения физико-механических свойств конструкционных и функциональных материалов и совершенствования технологий их производства.

Эффективным способом повышения долговечности изделий при эксплуатации, является нанесение на поверхность защитных покрытий. Например, поверхность лопаток газотурбинных двигателей из жаропрочных никелевых сплавов защищают с помощью покрытий из специальных жаростойких сплавов системы легирования Ni-Cr-Al-Ta-W-Hf-Si-Y. Поверхность стальных изделий защищают с помощью никель-фосфорного покрытия, эффективность которого значительно возрастает при наличии дисперсной присадки SiC в его составе. Механические и коррозионные свойства покрытий зависят от многих факторов – фазового состава, структуры покрытия и подложки и др. в разных состояниях. Поэтому не вызывает сомнений актуальность темы диссертационной работы Полухина Д.С., посвященной исследованию структуры и свойств композитного никель-фосфорного покрытия в различных состояниях.

### Общая характеристика работы

Диссертация изложена на 132 страницах машинописного текста, состоит из введения, четырех глав, заключения, списка цитируемой литературы в количестве 101 источник. Работа включает 128 рисунков, 13 таблиц и 2 приложения.

**Во введении** обоснована актуальность исследования, сформулирована цель работы и задачи, которые необходимо решить для ее достижения, приведены сведения о научной новизне работы, ее теоретической и практической значимости. Изложены методология и методы исследования, положения, выносимые на защиту, обоснована достоверность полученных результатов, представлены сведения об апробации работы в научном сообществе, публикации результатов и личном вкладе соискателя.

**Первая глава** посвящена обзору современного состояния исследований в области нанесения и испытания никель-фосфорных покрытий, зависимостям свойств от используемых в качестве дисперсной присадки материалов. Проведен анализ результатов исследований влияния способа нанесения Ni-P+SiC покрытий на свойства в исходном состоянии и после проведения термической обработки. Установлено, что термическая обработка способствует улучшению ключевых служебных характеристик – микротвердости, износостойкости и коррозионной стойкости. Выявлены зависимости свойств покрытия от наличия в составе электролита дисперсных присадок карбидов, нитридов, оксидов, боридов или сульфидов переходных металлов, а также частиц на основе углерода. Большинство из обозначенных присадок улучшают свойства покрытий как в исходном, так и термообработанном состояниях.

Показано, что, несмотря на значительное количество опубликованных работ на эту тему, большинство работ связано с технологией нанесения покрытий, в то время как изучению структуры и свойств уделялось мало внимания. Этим еще раз подтверждается актуальность диссертационной работы.

**Во второй главе** изложены основные методы и оборудование, применяемые в диссертационной работе при выполнении исследований и испытаний. К ним относятся изготовление опытных партий деталей и образцов; одноосное растяжение при комнатной температуре; определение микротвердости тонких покрытий методом вдавливания алмазных инденторов; рентгенографический, рентгеноспектральный и металлографический анализы; дифференциальная сканирующая калориметрия; гравиметрический метод определения стойкости к воздействию агрессивных сред после выдержки в течение 24 часов.

**В третьей главе** приведены результаты обоснованного выбора нагрузки для проведения испытания на микротвердость никель-фосфорного покрытия. Рассмотрены нормативная и законодательная база проведения

испытаний, изложены результаты экспериментального определения нагрузки при измерении твердости никель-фосфорного покрытия.

**В четвертой главе** представлены результаты исследования структуры и свойств композитного никель-фосфорного покрытия при термической обработке, оценки качества никель-фосфорного покрытия после отжига, рассмотрены особенности применения сталей в качестве подложки.

Показано, что структура покрытия в исходном состоянии является аморфной. Методом дифференциальной сканирующей калориметрии установлена температура начала кристаллизации ( $T_n$ ) покрытия при непрерывном нагреве образцов с никель-фосфорным покрытием. Значения  $T_n$  лежат в диапазоне 320-360 °С в зависимости от скорости нагрева (1, 5 и 20 К/мин). Исследовано влияние режима термической обработки при температурах выше температуры начала кристаллизации на твердость HV, что позволило выбрать предпочтительные температуры 390, 420 и 450 °С для обработки садки деталей весом более 15 тонн. Отжиг покрытия с карбидом кремния в течение 1-2 часов при температурах 390-420 °С увеличивает твердость до уровня выше требуемых по техническим условиям значений 1000 HV при одновременном повышении стойкости к воздействию крайне агрессивных сред и падении до нулевых значений относительного удлинения. Присутствие карбида кремния положительно сказывается на свойствах композитного никель-фосфорного покрытия, повышая твердость в свежесаженном состоянии на 200 HV.

Большой интерес представляют полученные в работе данные о влиянии количества остаточного аустенита  $\gamma_{ост.}$  в стальной подложке на качество покрытия по показателю сплошности. При  $\gamma_{ост.}$  до 4 % дефекты покрытия отсутствуют, при  $\gamma_{ост.}$  = 4-7 % дефекты могут образоваться в течение 1-4 недель, а при  $\gamma_{ост.}$  более 7 % дефекты выявляются после термической обработки. Полученные результаты позволили разработать и внедрить технологию термической обработки изделий с Ni-P+SiC покрытием, которая обеспечивает получение качественной продукции и сокращение длительности производственного процесса.

**В заключении** приведены основные результаты и выводы по работе.

Анализ представленных результатов экспериментальных исследований, их анализа и выводов автора позволяет сделать следующие заключения.

**Степень обоснованности полученных положений, выводов и рекомендации**

Результаты экспериментальных исследований, выводы и научные положения, выносимые на защиту, имеют высокую степень обоснованности, которая подтверждается применением как современных и стандартных методов исследования, так и оригинальных разработок автора, прошедших экспертную оценку.

**Научная новизна**

В работе необходимо выделить наиболее интересные и значимые результаты, соответствующие признаку научной новизны:

1. Впервые установлено, что содержание остаточного аустенита  $\gamma_{\text{ост.}}$  в стальной подложке, обусловленное проведением предшествующих технологических операций у производителя листового металлопроката, может являться критерием прогнозирования качества покрытия после его термической обработки по показателю сплошности. При  $\gamma_{\text{ост.}}$  до 4 % дефекты покрытия отсутствуют, при  $\gamma_{\text{ост.}} = 4-7\%$  дефекты могут образоваться в течение 1-4 недель, а при  $\gamma_{\text{ост.}}$  более 7 % дефекты выявляются после термической обработки.

2. Впервые показано, что для достижения высокой твердости композитного никель-фосфорного покрытия с дисперсными карбидами кремния необходимо наличие в структуре 10-15 % фосфида никеля  $\text{Ni}_3\text{P}$ . В то же время, для обеспечения в сочетании с высокой микротвердостью высокой коррозионной стойкости в концентрированных серной, азотной, уксусной, ортофосфорной, соляной кислотах и в растворах на их основе требуется 60-70 %  $\text{Ni}_3\text{P}$ .

#### **Практическая значимость работы**

1. Разработан режим термической обработки деталей, формирующий структуру, стойкую к воздействию агрессивных сред и гарантирующий приемлемый уровень твердости 1050 HV (необходима выдержка 2 часа при температуре 390 °C).

2. Установленная взаимосвязь фазового состава материала покрытия и подложки со свойствами – микротвердостью и коррозионной стойкостью – позволила выявить ограничения в применении машиностроительных сталей для химического никелирования. Рассмотрены особенности нанесения покрытия на сталь, определены факторы, способствующие растрескиванию в результате термической обработки.

3. На основании результатов работы произведена корректировка технологии производства и оценен экономический эффект.

#### **Достоверность результатов**

Достоверность результатов подтверждается прежде всего использованием широкого спектра современного оборудования и современных экспериментальных методов исследования, анализа полученной информации и обработки экспериментальных данных.

Работа хорошо апробирована в научном сообществе на международных конференциях (Новосибирск, Симферополь).

По результатам исследований опубликовано 7 работ, 4 из которых опубликованы в перечне отечественных рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК.

Автореферат диссертации и публикации полностью соответствуют и отражают содержание диссертации.

Диссертация по своим целям, задачам, содержанию, методам исследования и научной новизне полностью соответствует паспорту научной специальности 2.6.1 –Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Замечания по диссертации:

1. Известно, что существенное влияние на защитные свойства покрытий оказывает состояние поверхности раздела покрытие-подложка. В деталях с покрытием из жаропрочных никелевых сплавов в этой зоне обычно имеется пористость, которая может возникать как из-за технологических факторов, так и в результате диффузионного взаимодействия покрытия и подложки при термической обработке или эксплуатации. Поскольку пористость оказывает существенное влияние на жаропрочность, для ее устранения обычно применяются специальные методы. Данные вопросы мало исследованы в представленной диссертационной работе.

2. Требуют пояснения следующие выводы и заключения автора:

- стр. 87. «Также на электронном изображении (рисунок 38а) и на карте распределения кремния (рисунок 38б) можно четко увидеть частицы карбида кремния SiC (обозначены стрелкой), ориентированные в определенном кристаллографическом направлении...». Из представленных изображений и карт распределения этого не видно;

- стр. 87. «При повышении температуры отжига до 450 °С-500 °С микротвердость покрытий уменьшается до 950-1000 НV в связи с коагуляцией образующихся фаз до размеров 40-50 мкм (рисунок 40).». В работе не представлены данные количественного изучения процесса коагуляции фаз.

- стр. 90. «В случае отсутствия карбидов кремния в составе покрытия необходимый уровень твердости достигается только при выдержке 2 часа. Однако при этом значительного превышения минимального уровня не происходит по причине выгорания фосфора с поверхности». Необходимо предоставить результаты количественных измерений.

- стр. 99. «Получасовая выдержка материала покрытия при температуре 450 °С не приводит к формированию коррозионностойкой структуры (рисунок 47).». Какую структуру автор считает коррозионностойкой?

Указанные замечания не снижают научной и практической значимости представленной диссертационной работы.

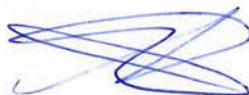
### **Заключение**

Считаю, что диссертационная работа Полухина Дмитрия Сергеевича «Структура и свойства композитного никель-фосфорного покрытия, термообработанного по разным режимам» является законченной научно-квалификационной работой, удовлетворяет требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, и ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических

наук по специальности 2.6.1 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Доктор технических наук, начальник отделения металлических материалов и металлургических технологий АО «Композит». Даю согласие на обработку персональных данных.

22.03.2023 г



Логачёва Алла Игоревна

Подпись Логачёвой Аллы Игоревны удостоверяю  
Директор по кадрам АО «Композит»



Б.Н. Елаков

Логачёва Алла Игоревна, д.т.н., специальность 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы; начальник отделения металлических материалов и металлургических технологий АО «Композит».

Адрес: 141070, Московская обл., г. Королев, ул. Пионерская, д. 4.

Телефон: 8 (495) 513 21 26

Адрес электронной почты: [info@kompozit-mv.ru](mailto:info@kompozit-mv.ru)