

# МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

УДК 669.15-196

Зотов С.В., Лимарев А.С., Мезин И.Ю., Гун И.Г., Понурко И.В.

## АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ПОРОШКОВЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ НИКЕЛЯ ПРИ ВОСТАНОВЛЕНИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ

***Аннотация.** Работа посвящена анализу параметров самофлюсующихся покрытий на основе никеля, которые применяются при восстановлении изношенных поверхностей автомобильных деталей. Был рассмотрен фактор толщины и его влияние на износостойкость, пористость и твердость. Выявлены толщины покрытий разного химического состава, определяющие оптимальные технологические параметры, а также причины изменения этих параметров. Анализ покрытий разного химического состава позволил сделать вывод о влиянии технологии нанесения покрытий на дефектность поверхности автомобильных деталей. Покрытия из порошковых сплавов марки ПР-Н77Х15С3Р2 являются наиболее эффективными при восстановлении деталей с износом до 1 мм.*

***Ключевые слова:** покрытие, износостойкость, твердость, пористость, микроструктура, толщина, сплав, наплавка, поверхность.*

Ремонт автомобильных деталей представляет собой восстановление всех геометрических размеров детали, ее формы и расположения поверхностей, а также обеспечение физико-механических свойств в сравнении с новой деталью. Кроме этого, при ремонте решается задача повышения долговечности и работоспособности детали [1-3].

При ремонте автомобилей широко используют газовую наплавку с присадкой прутков или проволоки, газопорошковую наплавку и газопламенное напыление с последующим оплавлением [4]. Предпочтительное применение получила газопорошковая наплавка, так как порошки позволяют в более широких пределах, чем проволока, регулировать состав наносимых покрытий, что способствует повышению прочности их сцепления с основой. Этот способ позволяет упрочнять детали сложной конфигурации слоем минимальной толщины (от 0,1 до 0,3 мм) без разбавления основным металлом, так как зона перехода составляет всего 100-120 мкм [5,6].

Для наплавки используют сплавы самых разнообразных составов. Требования, предъявляемые к свойствам металлов наплавки, зависят от условий эксплуатации деталей. В настоящее время существует достаточно большой спектр порошковых материалов для наплавки и напыления: порошки металлов (вольфрама, алюминия, молибдена, цинка), сплавов (свинцово-медных, кобальтовых, никелевых), порошки различных соединений и др. Среди различных наплавочных материалов особое место занимают износостойкие материалы, обладающие высокой твердостью и сохраняющие ее при высоких температурах в процессе работы.

В процессе восстановления автомобильных компонентов активно могут применяться самофлюсующиеся порошковые сплавы на основе никеля. Наиболее распространены порошковые сплавы следующих марок: ПГ-12Н-01, ПГ-12Н-02, ПР-Н77Х15С3Р2.

Износостойкие покрытия из порошковых сплавов системы Ni – Cr – В – Si – С, полученные методом газопламенного напыления с последующим оплавлением, имеют достаточно сложную структуру, состоящую из твердого раствора на основе никеля, многокомпонентной эвтектики, боридов, карбидов и силицидов [7].

Одним из главных технологических факторов, влияющих на процесс формирования покрытий и их эксплуатационных свойств, является толщина нанесенного слоя материала [8].

Результаты исследования относительной износостойкости ( $K_{и}$ ), твердости, дефектности в зависимости от толщины наплавленного слоя покрытия представлена на рис. 1, 2, 3 и 4.

Анализ кривых на рис. 1 свидетельствует, что покрытие марки ПГ-12Н-02 обладает наибольшей твердостью. Это объясняется большим количеством легирующих элементов данного сплава и наибольшим количеством твердой составляющей в этом сплаве (рис. 2).

Твердость в покрытиях марок ПГ-12Н-01 и ПГ-12Н-02 достигает максимальных значений на расстоянии 0,5-0,75 мкм от границы основа – покрытие, затем происходит снижение твердости.

В сплаве ПГ-12Н-01 твердость не зависит от толщины покрытия и меньше, чем в других сплавах. Поверхностная твердость в зависимости от толщины покрытия изменяется по-другому. При увеличении толщины покрытия происходит повышение значений твердости покрытия. При этом в покрытиях увеличивается количество твердых составляющих.

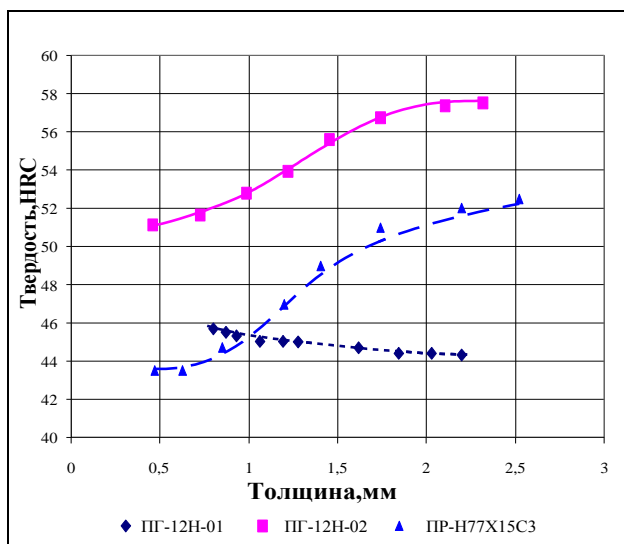


Рис. 1. Зависимость твердости разных марок сплавов от толщины покрытия

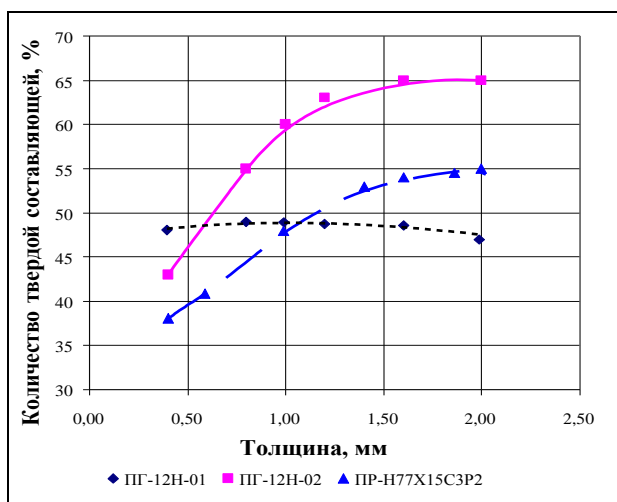


Рис. 2. Зависимость количества твердой составляющей разных марок сплавов от толщины покрытия

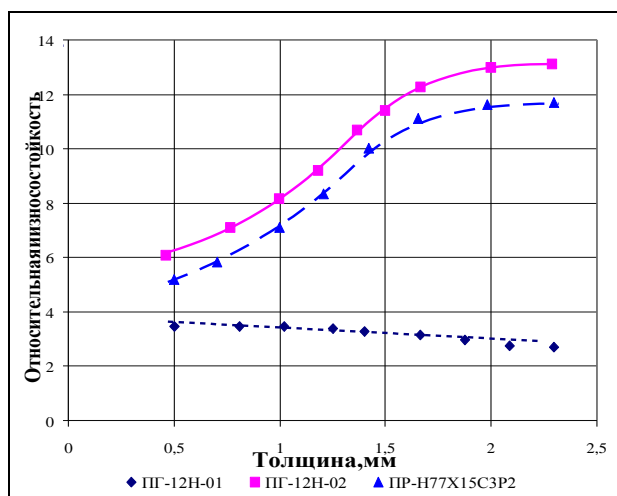


Рис. 3. Зависимость относительной износостойкости ( $K_{и}$ ) разных марок сплавов от толщины покрытия

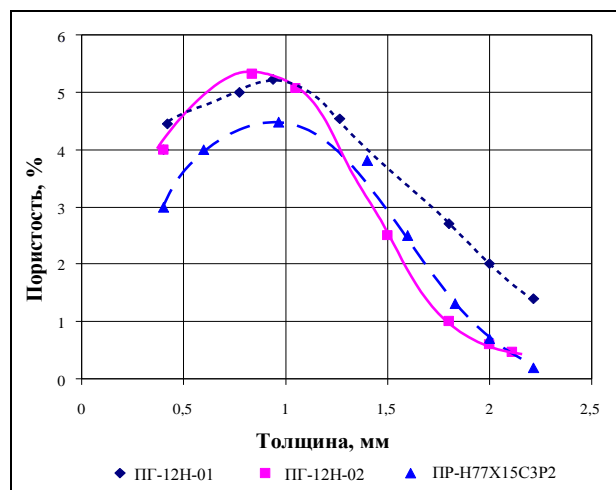


Рис. 4. Зависимость дефектности (пористости) разных марок сплавов от толщины покрытия

Такие зависимости объясняются особенностями технологии нанесения покрытий. [9]. Если толщина небольшая, при нанесении каждого последующего слоя происходит более полное и глубокое проплавление нанесенного материала вследствие его повторно-го разогрева. Количество жидкой фазы увеличивается, поэтому при последующей кристаллизации во время охлаждения происходит увеличение количества эвтектики. Твердость соответственно также возрастает. Начиная с толщины 1,5 мм. происходит слияние твердых частиц внутри покрытия, при этом увеличение количества эвтектик не наблюдается. Таким образом, начиная с этой толщины покрытия, поверхностная твердость остается неизменной.

Для сплавов ПГ-12Н-2 и ПР-Н77Х15С3Р2 выше-описанный характер зависимости твердости и количе-ства твердой структурной составляющей от толщины покрытия проявляется более явно (см. рис. 1, 2). В по-крытиях марки ПГ-12Н-01 содержание хрома являет-ся более высоким по сравнению со сплавами ПГ-12Н-2 и ПР-Н77Х15С3Р2, и его теплопроводность выше [10]. Это и обеспечивает более полное проплавление при любой из исследованных толщин нанесенного слоя, что дает практически одинаковую структуру на поверхности покрытия ПГ-12Н-01 разной толщины (рис. 5, а, б), поэтому твердость поверхности меньше, чем в других сплавах, и практически не меняется при увеличении толщины покрытия.

Технология нанесения покрытия определяет ха-рактер изменения количества твердой составляющей по толщине покрытия: покрытие наносится послойно с последующим оплавлением каждого слоя до тех пор, пока не получится заданная толщина покрытия (от 0,05 до 2,6 мм). Пока количество слоев мало, нанесенный слой материала успевает остыть, и после-дующий слой наносится на холодный металл, скоро-сть охлаждения возрастает, а следовательно, воз-растает и количество твердой составляющей – эвтек-тики [11].

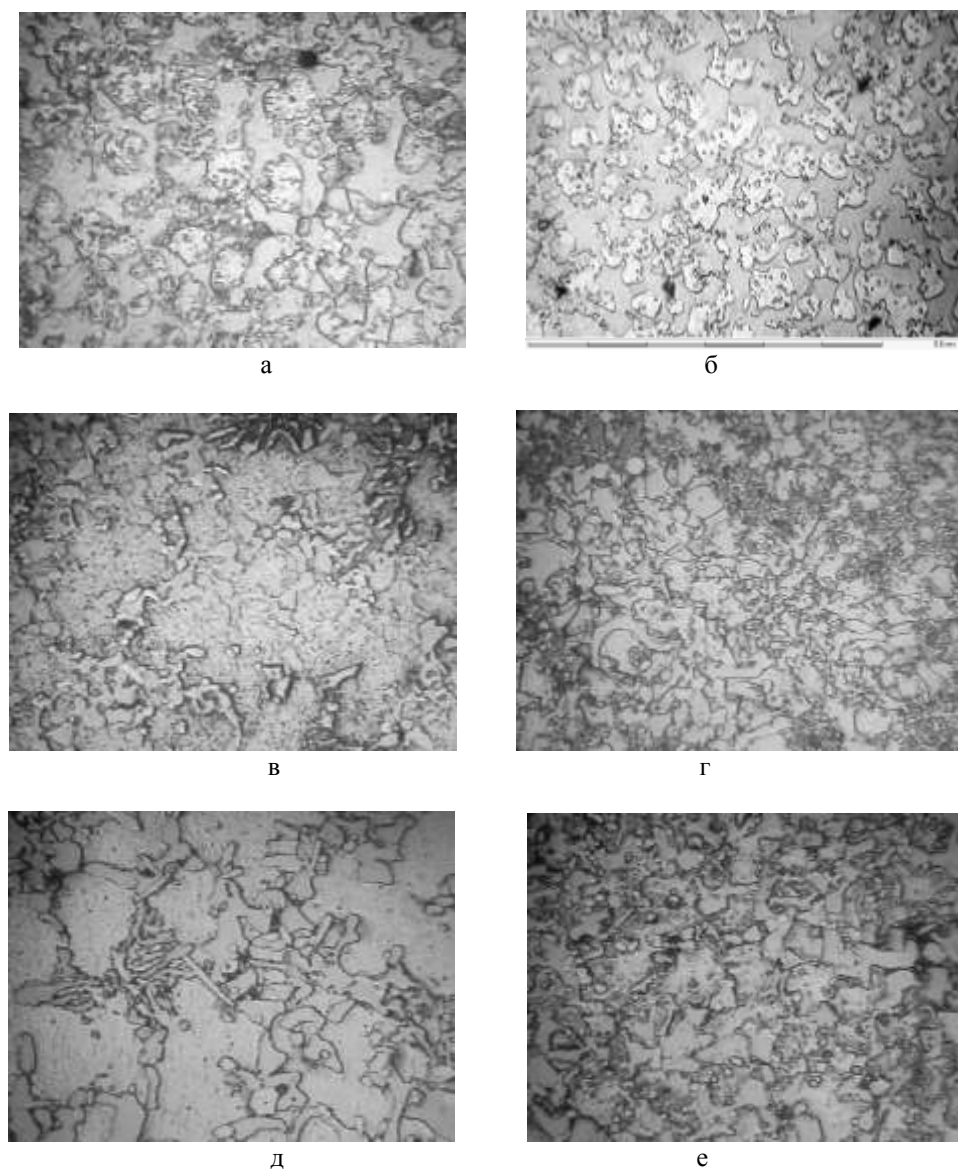


Рис. 5. Микроструктура поверхности покрытий разных марок и разной толщины:  
 а – ПГ-12Н-01 (толщина 0,5 мм); б – ПГ-12Н-01 (толщина 2,5 мм);  
 в – ПГ-12Н-02 (толщина 0,5 мм); г – ПГ-12Н-02 (толщина 2,5 мм);  
 д – ПР-Н77Х15С3Р2 (толщина 0,5 мм); е – ПР-Н77Х15С3Р2 (толщина 2,5 мм), x1000

Изменение относительной износостойкости поверхности покрытий Ки, приведенная на рис. 3, хорошо соотносится с изменением твердой составляющей [12]. При небольшой толщине покрытия жидкая фаза с поверхности при оплавлении проникает в более глубокие слои и происходит более полное и глубокое проплавление. В связи с этим на поверхности покрытия происходит некоторое возрастание пористости (~0,5%). При большей толщине слоя оплавление происходит преимущественно с поверхности, а более глубокие слои проплавляются хуже, в результате на поверхности наблюдается снижение пористости и образуется материал практически без пор.

Наименьшую износостойкость показал сплав ПГ-12Н-01 для всех толщин покрытий. При этом от-

носительная износостойкость, как и твердость, и количество твердой составляющей, при увеличении толщины покрытия изменяется очень незначительно. Это связано с наименьшим количеством твердой составляющей и наибольшим уровнем пористости (рис. 4) по сравнению с покрытиями марок ПГ-12Н-02 и ПР-Н77Х1С3Р2.

Твердость поверхности не является единственным фактором, определяющим износостойкость покрытий. Так, покрытия марок ПГ-12Н-02 и ПР-Н77Х15С3Р2 имеют приблизительно одинаковый уровень значений износостойкости, причем и характер изменения износостойкости при увеличении толщины слоя у данных покрытий отличается незначительно.

*Теория и технология металлургического производства*

При анализе кривых относительной износостойкости  $K_{и}$  и пористости (см. рис. 3 и 4) можно сделать вывод, что пористость структуры также вносит существенный вклад в обеспечение износостойкости.

Так, покрытие марки ПР-Н77Х15С3Р2 имеет в микроструктуре меньшее количество твердой составляющей, чем покрытие марки ПГ-12Н-02, и соответственно меньшую твердость (см. рис. 1 и 2). Однако если уровень пористости низок, как в покрытиях ПР-Н77Х15С3Р2, износостойкость покрытия такая же, как износостойкость покрытия марки ПГ-12Н-02 (см. рис. 3 и 4).

Такие особенности порошковых сплавов объясняются характером изменения пористости, а именно: по мере увеличения количества нанесенных слоев пористость очень сильно возрастает и достигает в сплавах ПГ-12Н-01 и ПГ-12Н-02 значений в 17 и 9% на расстоянии 1,5 и 1,7 мм соответственно. Повышение пористости микроструктуры является одной из причин снижения твердости по мере удаления от основного металла на расстояние больше, чем 0,7–0,9 мм. Однако в сплаве ПР-Н77Х15С3Р2 характер распределения пористости по сечению покрытия примерно такой же, как и в сплаве ПГ-12Н-01: пористость достигает максимума около 15% на расстоянии примерно 1,7 мм. Но при этом твердость не уменьшается, а даже непрерывно (хоть и незначительно) возрастает. Поэтому характер распределения твердости не связан однозначно с характером распределения пористости.

При уменьшении количества твердой фазы в сплавах ПГ-12Н-01 и ПГ-12Н-02 (см. рис. 5) происходит снижение твердости при увеличении расстояния от границы с основой. При этом снижение твердости и уменьшения количества твердых фаз в сплаве ПГ-12Н-02 происходит значительно более интенсивно, чем в сплаве марки ПГ-12Н-01, что можно объяснить большей однородностью структуры ПГ-12Н-01 (см. рис. 5, а, б), особенно в покрытиях большей толщины.

Таким образом, при восстановлении автомобильных деталей наиболее эффективным является покрытие марки ПР-Н77Х15С3Р2 толщиной 0,5-0,75 мм. При этом дефектность (пористость) в данном покрытии является минимальным при минимальном количестве твердой фазы. Данная марка порошковых покрытий имеет меньшую твердость, что позволяет более широко использовать слесарно-механическую обработку покрытий после нанесения.

#### Список литературы

1. Быков В.И., Юрченко Ю.Д., Куликов А.С. Износостойкость газотермических покрытий, работающих в условиях трения со смазкой // Трение и износ. 1992. Т. 13. №3. С. 64 – 70
2. Лимарев А.С., Селиванов Р.А. Совершенствование методов диагностики легковых автомобилей // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: тез. докл. 77-й междунар. науч.-техн. конференции. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2019. С. 10.
3. Анализ и совершенствование систем диагностирования двигателей внутреннего сгорания легковых автомобилей / Мезин И.Ю., Зотов С.В., Лимарев А.С., Коваленко А.О. // Автотранспортное предприятие. 2016. № 12. С. 38-41.
4. Влияние условий нанесения на структуру и свойства порошковых сплавов системы Ni – Cr – B – Si – C / Копцева Н.В., Зотов С.В., Чукин М.В., Барышников М.П. //Современные технологии и материаловедение. Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2003. С. 34 – 38.
5. Зотов С.В. Совершенствование технологии инструмента для экструзии керамических масс путем применения износостойких покрытий системы Ni-Cr-B-Si-C // Сб. рефератов НИР аспирантов. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2002. 111 с.
6. Мезин И.Ю., Лимарев А.С., Касаткина Е.Г. Формирование свойств машиностроительных материалов холодной пластической деформацией пористых порошковых заготовок // Качество в обработке материалов. 2018. № 2 (10). С. 40-45.
7. Копцева Н.В., Чукин М.В., Зотов С.В. Твердость, пористость и износостойкость системы Ni-Cr-B-Si-C // Новые материалы и технологии в машиностроении: тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. Тюмень: ТЮМГНГУ, 2000. С. 107–111.
8. Исследование поверхности при абразивном изнашивании геотермических покрытий системы Ni – Cr – B – Si – C / Копцева Н.В., Барышников М.П., Ефимова Ю.Ю., Зотов С.В. // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2005. №39. С. 172-174.
9. Применение холодной пластической деформации для формирования порошкового материала / Кузнецов М.Г., Ульянов В.А., Мезин И.Ю., Гимазетдинов Р.Ф., Шишкова С.Г. // Сталь. 2007. № 7. С. 102–103.
10. Рентгеноструктурный анализ  $\gamma$ -фазы износостойких сплавов на основе никеля // Порошковая металлургия. 1987. №1. С. 89 – 92.
11. Износостойкие покрытия системы Ni-Cr-B-Si-C / Копцева Н.В., Чукин М.В., Емелюшин А.Н., Зотов С.В. // Металлургия на пороге XXI века: достижения и прогнозы: Всерос. науч.-практ. конф. Новокузнецк, 2000. С. 247–251.
12. Исследование свойств покрытий системы Ni-Cr-B-Si-C / Копцева Н.В., Чукин М.В., Емелюшин А.Н., Зотов С.В. // Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы: тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. – Волжский: ВИСИ, 2000. С. 76 – 78.

**Сведения об авторах**

**Зотов Сергей Владимирович** – канд. техн. наук, доцент кафедры технологий сертификации и сервиса автомобилей, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: zotov\_tssa@mail.ru.

**Лимарев Александр Сергеевич** – канд. техн. наук, доцент кафедры технологий сертификации и сервиса автомобилей, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: aslimarev@mail.ru.

**Мезин Игорь Юрьевич** – д-р техн. наук, зав. кафедры технологий сертификации и сервиса автомобилей ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: meziniy1@mail.ru.

**Гун Игорь Геннадьевич** – д-р техн. наук, профессор кафедры технологий сертификации и сервиса автомобилей, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: goun@belmag.ru.

**Понурко Ирина Витальевна** – канд. техн. наук, доцент кафедры технологий сертификации и сервиса автомобилей, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: iponurko@mail.ru.

---

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

---

**ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS ON THE PROCESSES OF FORMING COATINGS BASED ON NICKEL**

**Sergey V. Zotov** – Ph. D. (Eng.), Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: [zotov\\_tssa@mail.ru](mailto:zotov_tssa@mail.ru).

**Aleksandr S. Limarev** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University Magnitogorsk, Russia. E-mail: aslimarev@mail.ru.

**Igor Yu. Mezin** – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: meziniy1@mail.ru.

**Igor G. Gun** – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: goun@belmag.ru.

**Irina V. Ponurko** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: iponurko@mail.ru.

***Abstracts.** The work is devoted to the analysis of the parameters of self-fluxing coatings based on nickel, which are used in the restoration of worn surfaces of automotive parts. The thickness factor and its effect on wear resistance, porosity and hardness were considered. The thicknesses of coatings of different chemical composition are determined, which determine the optimal technological parameters, as well as the reasons for the change in these parameters. Analysis of coatings of different chemical composition allowed us to conclude that the coating technology affects the surface imperfection of automotive parts. Coatings from powder alloys of the brand ПП-Н77Х15С3Р2 are most effective in the restoration of parts with wear up to 1 mm.*

***Keywords:** coating, wear resistance, hardness, porosity, microstructure, thickness, alloy, surfacing, surface.*

---

Ссылка на статью:

Зотов С.В., Лимарев А.С., Мезин И.Ю., Гун И.Г., Понурко И.В. Анализ особенностей применения порошковых покрытий на основе никеля при восстановлении автомобильных деталей // Теория и технология металлургического производства. 2020. №1 (32). С. 50-54.  
Zotov S.V., Limarev A.S., Mezin I.Yu., Gun I.G., Ponurko I.V. Analysis of the influence of technological parameters on the processes of forming coatings based on nickel. *Teoria i tehnologiya metallurgicheskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2020, vol. 32, no. 1, pp.50-54.