



УДК 621.791.92  
DOI: 10.21122/1683-6065-2019-1-108-111

Поступила 15.01.2019  
Received 15.01.2019

## ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ АЗОТА НА КОЛИЧЕСТВО АУСТЕНИТА В СТРУКТУРЕ НАПЛАВЛЕННЫХ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ ДИФФУЗИОННО-ЛЕГИРОВАННОЙ СТРУЖКИ СТАЛИ Р6М5

В. А. СТЕФАНОВИЧ, С. В. БОРИСОВ, А. В. СТЕФАНОВИЧ, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. Тел.: +375 29 338 18 57

В статье приведены результаты структурообразования наплавленных покрытий, полученных из стружки стали Р6М5 подвергнутой диффузионному легированию азотом-углеродом. Установлено, что при диффузионном легировании азотом-углеродом стружечных отходов стали Р6М5 содержание углерода в них изменяется в пределах 1,75–3,14%, азота – 0,43–1,24%. Фазовый состав включает фазы:  $\alpha$ -Fe,  $M_6C$ ,  $Fe_3C$ ,  $(Cr, Fe)_2N_{1-x}$ ,  $Fe_3N$ ,  $Cr_{0.63}C_{0.35}N_{0.03}$ ,  $M_4(C, N)$  в зависимости от температуры и времени диффузионного легирования. При наплавке данных материалов в наплавленном покрытии содержится карбидообразующих элементов 8,6–9,3%, углерода 1,04–1,94%, азота 0,08–0,25%. Структура состоит из карбида  $M_{23}C_6$ , мартенсита и аустенита, при этом содержание аустенита в дендритах может достигать до 70–90%. Показано, что легирование азотом наплавленных покрытий, полученных из стружки стали Р6М5, подвергнутой насыщению азотом-углеродом, более эффективно увеличивает количество аустенита в структуре, чем легирование наплавленных покрытий азотистыми ферросплавами.

**Ключевые слова.** Наплавленные покрытия, диффузионное легирование, влияние азота на содержание аустенита, фазовый состав наплавленных покрытий.

**Для цитирования.** Стефанович, В. А. Влияние содержания азота на количество аустенита в структуре наплавленных покрытий, полученных из диффузионно-легированной стружки стали Р6М5 / В. А. Стефанович, С. В. Борисов, А. В. Стефанович // Литьеиметаллургия. 2019. №1. С. 108–111. DOI: 10.21122/1683-6065-2019-1-108-111.

## THE INFLUENCE OF NITROGEN CONTENT ON THE AMOUNT OF AUSTENITE IN THE STRUCTURE OF THE DEPOSITED COATINGS OBTAINED FROM DIFFUSIONSGLEICHUNG SHAVINGS OF STEEL P6M5

V. A. STEFANOVICH, S. V. BORISOV, A. V. STEFANOVICH, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave. Tel.: +375 29 338 18 57

The article presents the results on the structure formation of deposited coatings obtained from steel chips P6M5 subjected to diffusion nitrogen-carbon doping. It was found that the diffusion doping with nitrogen-carbon steel chip waste P6M5 carbon content in them varies between 1.75–3.14%, nitrogen – 0.43–1.24%. The phase composition includes phases:  $\alpha$ -Fe,  $M_6C$ ,  $Fe_3C$ ,  $(Cr, Fe)_2N_{1-x}$ ,  $Fe_3N$ ,  $Cr_{0.63}C_{0.35}N_{0.03}$ ,  $M_4(C, N)$  depending on the temperature and time of diffusion doping. When surfacing these materials in the deposited coating contains carbide-forming elements 8.6–9.3%, carbon 1.04–1.94%, nitrogen 0.08–0.25%. The structure consists of carbide  $M_{23}C_6$ , martensite and austenite, while the content of austenite in dendrites can reach 70–90%. It is shown that nitrogen doping of the deposited coatings obtained from steel chips P6M5, subjected to saturation with nitrogen-carbon, more effectively increases the amount of austenite in the structure than alloying the deposited coatings with nitrogen ferroalloys.

**Keywords.** Deposited coatings, diffusion alloying, nitrogen effect on austenite content, phase composition of deposited coatings.

**For citation.** Stefanovich V. A., Borisov S. V., Stefanovich A. V. The influence of nitrogen content on the amount of austenite in the structure of the deposited coatings obtained from diffusionsgleichung shavings of steel P6M5. Foundry production and metallurgy, 2019, no. 1, pp. 108–111. DOI: 10.21122/1683-6065-2019-1-108-111.

### Введение

Наплавка рабочих поверхностей является одним из наиболее эффективных способов упрочнения деталей, подверженных различным видам износа. Для разных условий эксплуатации максимальная износостойкость обеспечивается структурой наплавленного покрытия (НП), типом и свойствами фаз, их количественным соотношением. При рациональном легировании [1] структура НП должна состоять из

твердых частиц, находящихся в аустенитно-мартенситной матрице. Количество частиц в структуре должно быть при абразивном изнашивании 60–80%, аустенита остаточного – 15–25%; при ударно-абразивном – твердых частиц – 15–30% и аустенита остаточного – 50–60%. Для получения данных структур НП легируют карбидообразующими элементами, углеродом, бором, никелем, азотом. Максимальная износостойкость НП получается при соотношении  $(Cr + W + Mo + V)/C = 2-5$ ; при наличии бора  $(Cr + W + Mo + V)/C = 1-3$ . Количество аустенита в структуре регулируется введением никеля и азота.

Наиболее дешевым способом получения наплавочных материалов (НМ) является использование стружечных отходов, подвергаемых диффузионному легированию (ДЛ). В работе приведены результаты по разработке НМ из стружечных отходов стали Р6М5 с использованием ДЛ углеродом–азотом. При наплавке данных НМ диффузионный слой, взаимодействуя с основой, образует структуру, состоящую из твердых частиц (карбидов), находящихся в аустенитно-мартенситной матрице. Изменяя параметры ДЛ (температуру и время), можно получить в НМ требуемое количество углерода, азота, которые позволят формировать структуру НП с определенным количественным соотношением твердых частиц, аустенита и мартенсита.

**Цель работы** – исследование влияния температуры и времени ДЛ на химический и фазовый состав стружечных отходов стали Р6М5, а также формирование структуры НП, полученных из данных материалов.

**Методическая часть.** Процесс ДЛ стружки проводили в порошковых смесях в контейнерах с плавким затвором. Насыщение осуществляли при 550, 600, 700 и 860 °С. ДЛ при 550 °С насыщение происходило преимущественно азотом, при 860 °С – преимущественно углеродом. Металлографические исследования проводили на оптическом комплексе «Planag МК-3» с использованием пакета прикладных программ количественной металлографии «Simplelm». Измерение твердости проводили на приборе ПМТ-3 с нагрузкой 1 Н. Рентгеноструктурный фазовый анализ выполняли на ДРОН-3 с медным излучением, при расшифровке рентгенограмм использовали каталог Power diffraction file Compiled by the JCPDS. Химический анализ проводили на атомно-эмиссионном спектрометре VARD. НП получали электродуговой наплавкой в три слоя из электродов, в обмазку которых вводили ДЛ стружку.

**Обсуждение результатов.** При ДЛ углеродом–азотом стружки из стали Р6М5 структуру и твердость по сечению стружки определяли температурой ДЛ и размерами частиц. У частиц размером 10–20 мкм при всех температурах ДЛ происходит сквозное насыщение. Твердость по сечению имеет одинаковые значения и изменяется от 9100 МПа при ДЛ 550 °С до 4700 МПа при ДЛ 860 °С. У частиц толщиной 50–70 мкм при ДЛ углеродом–азотом 550 °С на поверхности формируется диффузионный слой толщиной 15–20 мкм с твердостью 8240 МПа, которая постепенно снижается до 3460 МПа. Структура диффузионного слоя при ДЛ углеродом–азотом 550, 600, 700 °С состоит из  $\epsilon$ -фазы на поверхности частиц (рис. 1, а), толщина которой увеличивается с повышением температуры и зоны внутреннего азотирования. При ДЛ 860 °С  $\epsilon$ -фаза на поверхности стружки не образуется, и структура состоит из  $\alpha$ -твердого раствора с включениями частиц (рис. 1, б). Стружка по своему объему имеет много трещин, по которым происходит диффузия элементов, при этом по границам трещин образуются зоны с повышенным содержанием азота и углерода (рис. 1, в).

Рентгеноструктурным анализом стружечных отходов, подвергнутых ДЛ азотом–углеродом, установлены следующие фазы:  $\alpha$ -Fe,  $M_6C$ ,  $Fe_3C$ ,  $(Cr, Fe)_2N_{1-x}$ ,  $Fe_3N$ ,  $Cr_{0,63}C_{0,35}N_{0,03}$ ,  $M_4(C, N)$  (рис. 2). Повыше-

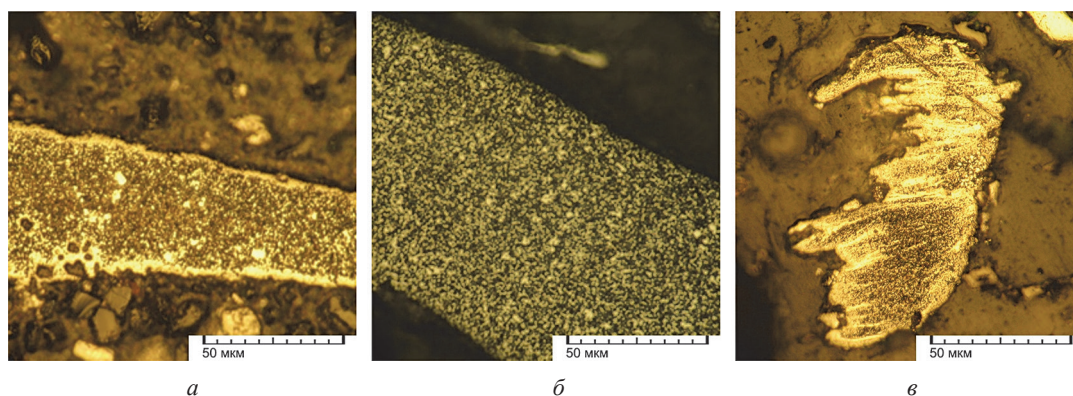


Рис. 1. Микроструктура стружки из стали Р6М5 после ДЛ углеродом–азотом стали Р6М5 в зависимости от температуры ДЛ: а –  $T = 600$  °С; б – 860; в – 700 °С

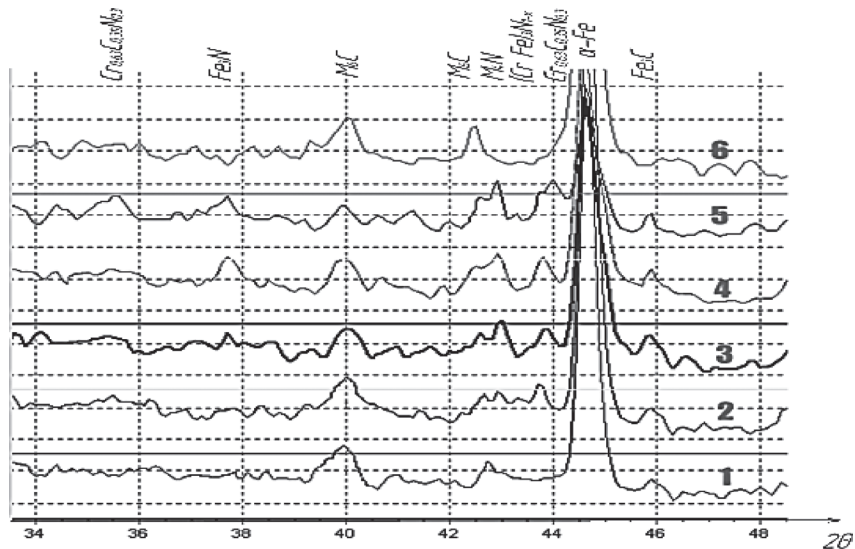


Рис. 2. Рентгенограммы стружечных отходов стали Р6М5 после ДЛ азотом–углеродом: 1 –  $T = 860\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\tau = 1\text{ ч}$ ; 2 –  $860\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 4 ч; 3 –  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 1 ч; 4 –  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 4 ч; 5 –  $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 1 ч; 6 – без ХТО

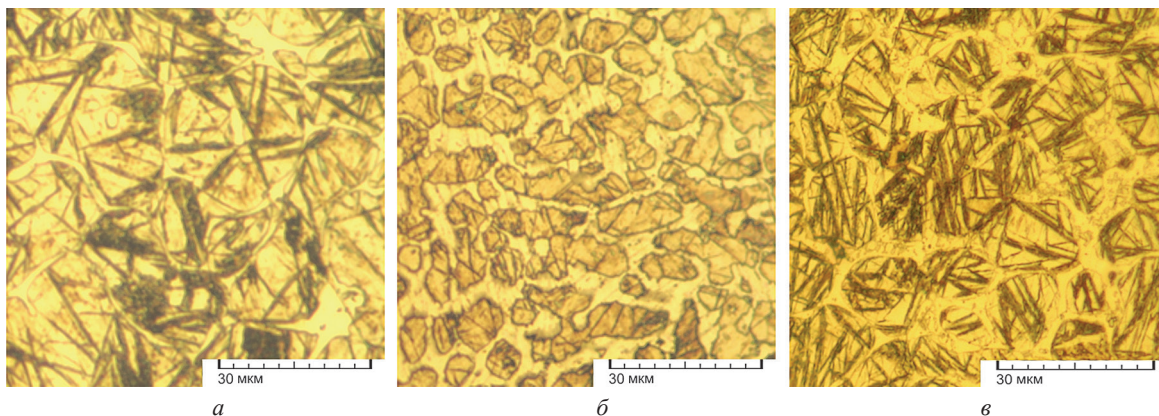


Рис. 3. Микроструктуры НП, полученных из отходов стали Р6М5 после ДЛ: а –  $T = 600\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; б –  $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; в –  $860\text{ }^{\circ}\text{C}$

ние температуры ДЛ приводит к уменьшению нитридных фаз в структуре. Так, при ДЛ  $860\text{ }^{\circ}\text{C}$  в структуре отсутствуют нитриды (рис. 2).

Химический анализ стружечных отходов стали Р6М5 после ДЛ показал, что содержание углерода колеблется в пределах 1,75–3,14%, азота – 0,43–1,24% в зависимости температуры ДЛ. При ДЛ  $550\text{ }^{\circ}\text{C}$  содержание углерода в стружке составляет 1,75%, а азота – 1,24%; при ДЛ  $860\text{ }^{\circ}\text{C}$  количество углерода – 3,14%, а азота – 0,43%.

Химический состав НП, полученных из стружечных отходов, подвергнутых ДЛ, зависит от содержания углерода и азота в стружке после ДЛ (см. таблицу). Содержание Cr, W, Mo, V в НП приблизительно одинаковое. Количество углерода в НП увеличивается с повышением температуры ДЛ исходных НМ и изменяется от 1,04% при ДЛ  $550\text{ }^{\circ}\text{C}$  до 1,94% при ДЛ  $860\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Содержание азота в НП уменьшается с увеличением температуры ДЛ стружки и составляет 0,25% при ДЛ  $550\text{ }^{\circ}\text{C}$  и 1,94% при ДЛ  $860\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Химический состав наплавленных покрытий, полученных из отходов стали Р6М5

Номер материала	Массовая доля элементов, %						Элементы, вводимые при ДЛ	Температура ДЛ, $^{\circ}\text{C}$
	C	Cr	W	Mo	V	N		
1	1,04	2,44	3,71	2,43	0,68	0,25	C+N	550
2	1,16	2,32	3,47	2,51	0,71	0,16	C+N	600
3	1,51	2,24	3,54	2,38	0,73	0,14	C+N	700
4	1,94	2,38	3,67	2,49	0,72	0,08	C+N	860

Исследование структуры НП, полученных из ДЛ стружки стали Р6М5, показало, что структура имеет доэвтектическое строение и состоит из дендритов и эвтектики (рис. 3).



Рентгеноструктурный фазовый анализ НП, полученных из ДЛ углеродом–азотом стружки стали Р6М5, выявил следующие фазы: карбид  $M_{23}C_6$ , аустенит и мартенсит. Повышение температуры ДЛ углеродом–азотом стружки стали Р6М5 приводит к увеличению количества карбидной фазы в структуре НП (рис. 3). Количественное соотношение аустенита и мартенсита в дендритах НП зависит от содержания азота в исходных наплавочных материалах. Более высокое содержание азота обеспечивает высокое содержание аустенита остаточного в структуре НП. Количественный металлографический анализ показал, что НП, полученные из стружки, подвергнутой ДЛ при 560 и 600 и 700 °С, содержат 70–90% аустенита (рис. 3, а, б). Увеличение температуры ДЛ стружки до 860 °С снижает содержание аустенита в НП до 40–50% (рис. 3, в).

Анализ литературных данных [1, 2] по легированию азотом НП азотистым феррохромом и приведенных выше результатов показал, что легирование азотом НП, полученных из НМ, подвергнутых ДЛ, более эффективно увеличивает количество аустенита в структуре, чем легирование НП азотистыми ферросплавами. Это связано с тем, что в стружечных отходах, подвергнутых ДЛ азотом, азот находится в твердом растворе и нитридах железа с температурой диссоциации 550–689 °С, а в ферросплавах только в нитридах хрома с температурой диссоциации >1500 °С [3]. Поэтому при наплавке большее количество азота попадает в жидкий раствор НП из ДЛ стружечных отходов, чем при наплавке из материалов на основе азотистых ферросплавов. Так, при содержании азота в наплавленном покрытии 0,18–0,2%, полученном из электрода на основе азотистого феррохрома 14Х16АН2Т, содержание аустенита в матрице составляет 40–50%, а наплавленном покрытии, полученном из разработанных НМ, – 70–90%.

### Выводы

1. При ДЛ азотом–углеродом стружечных отходов стали Р6М5 содержание углерода в них изменяется в пределах 1,75–3,14%, азота – 0,43–1,24%. Фазовый состав включает фазы:  $\alpha$ -Fe,  $M_6C$ ,  $Fe_3C$ ,  $(Cr, Fe)_2N_{1-x}$ ,  $Fe_3N$ ,  $Cr_{0.63}C_{0.35}N_{0.03}$ ,  $M_4(C, N)$  в зависимости от температуры и времени ДЛ.

2. При наплавке ДЛ стружечных отходов стали Р6М5 НП содержат карбидообразующих элементов 8,6–9,3%, углерода – 1,04–1,94, азота – 0,08–0,25%. Фазовый состав НП –  $M_{23}C_6$ , мартенсит, аустенит, при этом содержание аустенита в дендритах может достигать до 70–90%.

3. Установлено, что легирование азотом НП, полученных из НМ, подвергнутых ДЛ, более эффективно увеличивает количество аустенита в структуре, чем легирование НП азотистыми ферросплавами. Так, при содержании азота в наплавленном покрытии 0,18–0,2%, полученном из электрода на основе азотистого феррохрома 14Х16АН2Т, содержание аустенита в матрице составляет 40–50%, а в НП, полученном из разработанных НМ, – 70–90% при одинаковом содержании азота.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Лившиц Л. С. Наплавочные материалы и технология наплавки для повышения износостойкости и восстановления деталей машин / Л. С. Лившиц // Сварочное пр-во. 1990. № 1. С. 15–17.
2. Мамаев П. Н. Износостойкие наплавки с азотом / П. Н. Мамаев, Н. А. Гринберг, Л. С. Лившиц // Металловедение и термическая обработка металлов. 1972. № 6. С. 54–55.
3. Молекулярные постоянные неорганических соединений: справ. / Под ред. К. С. Краснова. Л.: Химия, 1979. 446 с.

### REFERENCES

1. Livshic L. S. Naplavochnye materialy i tehnologija naplavki dlja povyshenija iznosostojkosti i vosstanovlenija detalej mashin [Surfacing materials and technology of surfacing to increase wear resistance and restoration of machine parts]. *Svarochnoe proizvodstvo = Welding production*, 1990, no. 1, pp.15–17.
2. Mamaev P. N., Grinberg N. A., Livshic L. S. Iznosostojkie naplavki s azotom [Wear-resistant surfacing with nitrogen]. *Metallovedenie i termicheskaja obrabotka metallov = Metal science and heat treatment of metals*, 1972, no. 6, pp. 54–55.
3. *Molekuljarnye postojannye neorganicheskikh soedinenij* [Molecular permanent inorganic compounds]. Leningrad, Himija Publ., 1979. 446 p.