



УДК 621. 793.79

DOI 10.17073/0368-0797-2026-3-258-264



Оригинальная статья  
Original article

## МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СПЛАВА СИСТЕМЫ Co – Cr – Fe – Mn – Ni

Р. Е. Крюков, С. В. Коновалов, А. Р. Михно , И. А. Панченко

Сибирский государственный индустриальный университет (Россия, 654007, Кемеровская обл. – Кузбасс, Новокузнецк, ул. Кирова, 42)

 mikno-mm131@mail.ru

**Аннотация.** В условиях НПЦ «Сварочные процессы и технологии» Сибирского государственного индустриального университета проведена наплавка разработанных порошковых проволок системы Co–Cr–Fe–Mn–Ni методом автоматической дуговой сварки под слоем флюса. Атомно-эмиссионным методом на спектрометре ДФС-1 и рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре XRF-1800 определен химический состав образцов наплавленных покрытий. Результаты исследований указывают на возможность получения покрытий, состоящих из 60 – 70 % железа и 30 – 40 % легирующих элементов. С использованием металлографического микроскопа METAM PB-34 и программного комплекса NEXSYS ImageExpert проведены микроструктурные исследования образцов. В наплавленных образцах встречаются оксиды точечные балла 2а, силикаты недеформирующиеся балла 4а и 4б. По сравнению с подложкой (сталью 09Г2С) полученные наплавленные слои образцов заметно чище, однако образец К4 имеет меньшую загрязненность. Микроструктура первых наплавленных слоев представлена игольчатым мартенситом, что подтверждается результатами измерения микротвердости. Последующие слои наплавленных образцов представлены аустенитной кристаллической структурой. Причем структура имеет вытянутое (дендритное) строение, что присуще структурам, полученным методом дуговой наплавки. С помощью микротвердомера HVS-1000 по Микро-Виккерсу ГОСТ 9450 – 76 проведены исследования распределения микротвердости. Результаты указывают на получение сплава с твердостью, немного выше чем у используемой подложки, при этом стоит отметить, что в наплавленном слое присутствуют зоны с повышенной в два раза твердостью. Чаще всего повышение твердости наблюдается на первых наплавленных слоях.

**Ключевые слова:** порошковая проволока, электродуговая наплавка, неметаллические включения, микроструктура, микротвердость, химический состав

**Благодарности:** Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-29-00350, <https://rscf.ru/project/23-29-00350/>.

**Для цитирования:** Крюков Р.Е., Коновалов С.В., Михно А.Р., Панченко И.А. Металлографические исследования сплава системы Co–Cr–Fe–Mn–Ni. *Известия вузов. Черная металлургия.* 2026;69(3):258–264. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2026-3-258-264>

## METALLOGRAPHIC STUDIES OF THE ALLOY OF Co – Cr – Fe – Mn – Ni SYSTEM

R. E. Kryukov, S. V. Konovalov, A. R. Mikhno , I. A. Panchenko

Siberian State Industrial University (42 Kirova Str., Novokuznetsk, Kemerovo Region – Kuzbass 654007, Russian Federation)

 mikno-mm131@mail.ru

**Abstract.** In conditions of the Scientific and Production Center “Welding Processes and Technologies” of the Siberian State Industrial University, the developed flux-cored wires of the Co–Cr–Fe–Mn–Ni system were surfaced by automatic arc welding under a layer of flux. Chemical composition of the deposited coating samples was determined using the atomic emission method on the DFS-1 spectrometer and the X-ray fluorescence method on the XRF-1800 spectrometer. The research results indicate the possibility of obtaining coatings consisting of 60 – 70 % iron and 30 – 40 % alloying elements. Microstructural studies of the samples were carried out using the metallographic microscope METAM RV-34 and the NEXSYS ImageExpert software package. The deposited samples contain point oxides of grade 2a, non-deformable silicates of grade 4a, b. Compared with the substrate (09G2S steel), the resulting deposited layers of the samples are noticeably cleaner, however, K4 sample has less contamination. Microstructure of the first deposited layers is represented by needle-like martensite, which is confirmed by the results of microhardness measuring. Subsequent layers of the deposited samples are represented by an austenitic crystal structure. Moreover, the structure has an elongated (dendritic) structure, which is inherent in structures obtained by arc welding. The authors studied the microhardness distribution using the HVS-1000 microhardness tester according to Micro-Vickers GOST 9450 – 76. The results indicate the production of an alloy with a hardness slightly higher than that of the substrate used, while it is worth noting that the deposited layer contains zones with twice hardness. Most often, an increase in hardness is observed on the first deposited layers.

**Keywords:** flux-cored wire, electric arc surfacing, non-metallic inclusions, microstructure, microhardness, chemical composition

**Acknowledgements:** The work was supported by the Russian Science Foundation, grant No. 23-29-00350, <https://rscf.ru/project/23-29-00350/>.

**For citation:** Kryukov R.E., Kononov S.V., Mikhno A.R., Panchenko I.A. Metallographic studies of the alloy of Co–Cr–Fe–Mn–Ni system. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2026;69(3):258–264. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2026-3-258-264>

## ВВЕДЕНИЕ

Уже на протяжении больше полувека с момента разработки первой порошковой проволоки используется технология сварки и наплавки металлических изделий высоколегированными сварочными материалами [1–3]. Наиболее распространенные наплавочные материалы – порошковые проволоки на железоуглеродистой основе, дополнительно содержащие различные тугоплавкие элементы (хром, вольфрам, молибден, титан, бор и др.) [4–6]. Использование таких материалов при проведении наплавочных работ позволяет значительно повысить эксплуатационные свойства и надежность изделий (прочность, твердость, пластичность, износостойкость и т. д.) [7; 8], а также снизить стоимость изготовления этих изделий за счет применения вторичных компонентов в шихте порошковых проволок [9; 10].

В условиях высокоэнергетического воздействия электрической дуги, температуры столба которой могут достигать 6200 К, в металле неразъемных соединений (основа – восстанавливаемая изношенная поверхность и электродуговое покрытие) протекает комплекс сложных взаимосвязанных физических, физико-химических и теплофизических явлений и процессов. Эти процессы сопровождаются изменением агрегатного состояния, микро- и макроструктуры, дислокационной субструктуры, химического и фазового составов основы и покрытия и определяют формирование комплекса свойств [11–13].

За счет применения легирующих компонентов в составе шихты порошковой проволоки возможно изменение химического состава наплавленного покрытия и, как следствие, изменение механических свойств изделий [14; 15].

Например, молибденовые стали в смеси с рядом других легирующих материалов способствуют получению высокотвердого покрытия, применение которого возможно при изготовлении быстрорежущих изделий [16; 17].

Хромистые стали с содержанием хрома свыше 12 % являются коррозионностойкими и жаропрочными при температурах до 600 °С. В зависимости от соотношения содержания в них углерода и хрома эти стали имеют различное структурное состояние: феррит, мартенсит, феррито-мартенсит. Хромистые стали используются для наплавки деталей различного назначения: плунжеры гидропрессов, прокатные валки, штампы, пускорегулирующая арматура [18; 19].

В зависимости от содержания легирующих элементов различное применение находят аустенитные стали. Нестабильные аустенитные стали применяются для наплавки деталей, испытывающих интенсивные ударно-динамические нагрузки, которые приводят к распаду аустенита и повышению твердости [20–22].

Целью настоящей работы являются изготовление и металлографические исследования металлического слоя, наплавленного порошковой проволокой системы Co–Cr–Fe–Mn–Ni.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Расчет компонентов шихтовых материалов разрабатываемой порошковой проволоки проводился по методике, представленной в работе [23]. В качестве используемых материалов для изготовления порошковой проволоки использовали металлические порошкообразные материалы: ПХ-1С (по ТУ 14-1-1474–75), МР-0 (по ГОСТ 6008–82), ПК-1у (по ГОСТ 9721–79), ПНК 1Л5 (по ГОСТ 9722–97). В качестве оболочки порошковой проволоки использована лента толщиной 0,5 мм шириной 15 мм из нержавеющей стали AISI 304. Изготовление порошковой проволоки производилось на лабораторной установке НПЦ «Сварочные процессы и технологии» СибГИУ. Диаметр изготавливаемой проволоки 4 мм.

Наплавку изготовленной проволоки осуществляли в несколько проходов (4–5) на подложку из конструкционной низколегированной стали 09Г2С с использованием сварочного трактора АОТАI ASAW-1250 под сварочным флюсом АН-348А. Использовался следующий (ранее подобранный) режим наплавки: ток 420 А; напряжение 38 В; скорость наплавки 15 см/мин.

Для подготовки изготовленных образцов к исследованию использовался ленточнопильный станок REALREZ M51 и шлифовально-полировальный станок MODUL MP-1000.

Определение химического состава наплавленных покрытий проводилось с использованием оборудования ЦКП «Материаловедение» СибГИУ, атомно-эмиссионным методом на спектрометре ДФС-71 и рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре XRF-1800.

Металлографические исследования проводились с использованием металлографического микроскопа METAM PB-34 и программного комплекса NEXSYS ImageExpert. Оценку неметаллических включений наплавленных слоев осуществляли согласно методике, указанной в ГОСТ 1778–2022, при увеличении 100<sup>×</sup>.

Таблица 1. Составы шихты порошковой проволоки

Table 1. Compositions of flux-cored wire charge

| Маркировка образца | Используемые компоненты шихты порошковой проволоки, г |                 |                 |                  |
|--------------------|---|-----------------|-----------------|------------------|
|                    | ПХ-1С (Хром)  | МР-0 (Марганец) | ПК-1у (Кобальт) | ПНК 1Л5 (Никель) |
| К3                 | 10  | 35              | 40              | 15               |
| К4                 | 10  | 40              | 35              | 15               |

Изучение микроструктуры проводилось при увеличении 100<sup>×</sup>, 400<sup>×</sup>, 1000<sup>×</sup>.

Замеры микротвердости исследуемых образцов проводились с использованием микротвердомера HVS-1000 по Микро-Виккерсу (ГОСТ 9450 – 76) путем вдавливания алмазной пирамидки. Испытательная нагрузка 9,8 Н, длительность приложения нагрузки 10 с.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для проведения исследований путем многопроходной наплавки изготовлены образцы (рис. 1), отличающиеся между собой концентрацией легирующих элементов в порошковой проволоке (табл. 1).

Результаты химического анализа наплавленного слоя приведены в табл. 2. По полученным данным определено, что наплавленный металл состоит из 60 – 70 % железа и 30 – 40 % легирующих элементов.

Загрязненность наплавленного слоя (рис. 2) изучали по торцу наплавленного образца. Согласно шкалам сравнения (ГОСТ 1778 – 2022) в наплавлен-

ных образцах встречаются оксиды точечные, балл 2а, силикаты недеформирующиеся, балл 4а и 4б. Определено, что образец К4 имеет меньшую загрязненность, чем образец К3, однако по сравнению с подложкой

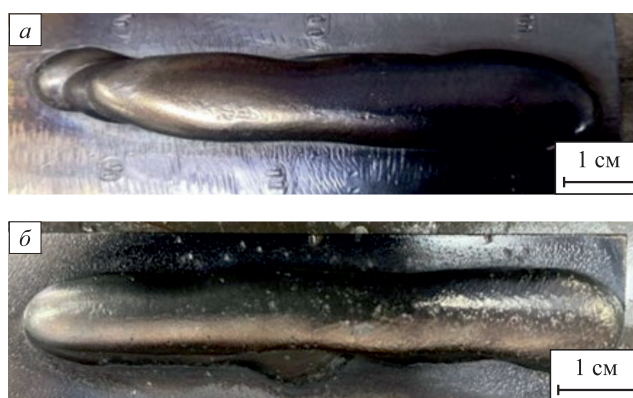


Рис. 1. Характерный вид наплавленных образцов: а – образец К3; б – образец К4

Fig. 1. Characteristic appearance of deposited samples: а – sample K3; б – sample K4

Таблица 2. Химический состав наплавленных образцов

Table 2. Chemical composition of deposited samples

| Маркировка образца | Массовая доля элементов, % |      |       |       |      |       |       |       |      |       |       |      |           |
|--------------------|----------------------------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|-----------|
|                    | Si                         | Mn   | Cr    | Ni    | Cu   | W     | V     | Mo    | Al   | S     | P     | Co   | Fe        |
| К3                 | 0,83                       | 4,80 | 17,88 | 9,47  | 0,03 | 0,048 | 0,078 | 0,017 | 0,24 | 0,008 | 0,038 | 5,98 | остальное |
| К4                 | 0,75                       | 5,73 | 17,06 | 11,39 | 0,03 | 0,110 | 0,072 | 0,019 | 0,18 | 0,012 | 0,035 | 5,44 | остальное |

Таблица 3. Результаты измерения микротвердости (HV) наплавленных образцов

Table 3. Results of measurement of microhardness (HV) of deposited samples

| Маркировка образца | Микротвердость в точке замера |     |     |     |     |     |     |     |                            |                      |     |     |     |     |     |     |     |
|--------------------|-------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------------------------|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                    | 1                             | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9                          | 10                   | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  | 16  | 17  |
| К3                 | 176                           | 161 | 149 | 155 | 175 | 182 | 164 | 161 | 150                        | 146                  | 148 | 154 | 157 | 142 | 145 | 186 | 162 |
| К4                 | 143                           | 138 | 139 | 140 | 132 | 132 | 144 | 139 | 137                        | 135                  | 136 | 146 | 152 | 137 | 127 | 309 | 313 |
| Маркировка образца | Микротвердость в точке замера |     |     |     |     |     |     |     | Основной металл (подложка) | Среднее значение, HV |     |     |     |     |     |     |     |
|                    | 18                            | 19  | 20  | 21  | 22  | 23  | 24  | 25  |                            |                      |     |     |     |     |     |     |     |
| К3                 | 160                           | 149 | 155 | 126 | 167 | 147 | 220 | 126 | 120 – 130                  | 159                  |     |     |     |     |     |     |     |
| К4                 | 138                           | 124 | 123 | 125 | 127 | 129 | 131 | 192 |                            |                      | 151 |     |     |     |     |     |     |

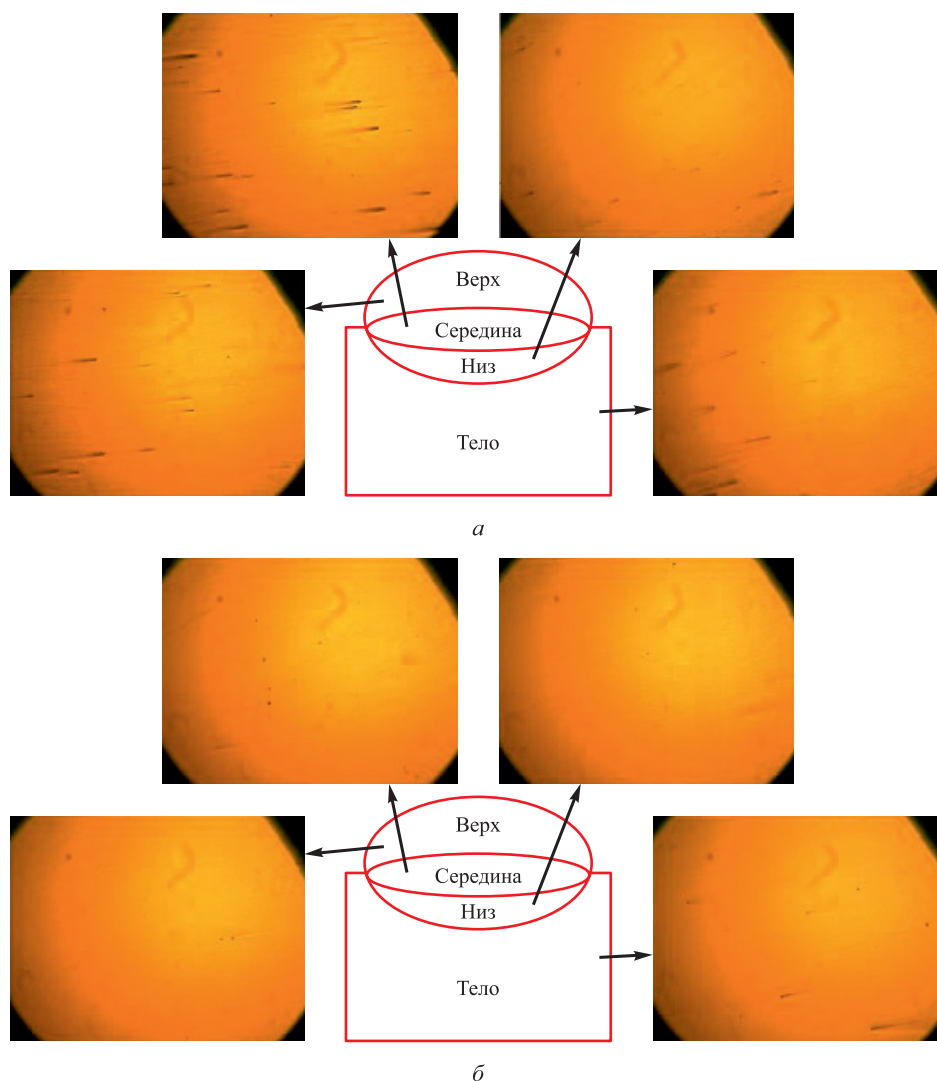


Рис. 2. Загрязненность образцов К3 (а) и К4 (б) неметаллическими включениями

Fig. 2. Contamination of samples K3 (a) and K4 (б) with nonmetallic inclusions

(сталью 09Г2С) полученные наплавленные слои образцов заметно чище.

На рис. 3 представлена схема расположения точек замера микротвердости образцов.

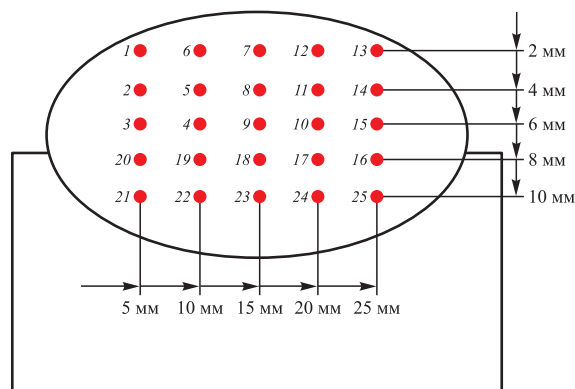


Рис. 3. Схема расположения точек измерения микротвердости

Fig. 3. Arrangement of microhardness measuring points

Результаты измерения микротвердости (табл. 3) указывают на то, что микротвердость наплавленных порошковыми проволоками системы Co–Cr–Fe–Mn–Ni слоев немного выше, чем микротвердость используемой подложки. При этом стоит отметить, что в наплавленном слое присутствуют зоны с повышенной в два раза микротвердостью. Чаще всего повышение микротвердости наблюдается на первых наплавленных слоях.

Анализ микроструктуры (рис. 4) проводился после травления наплавленных образцов царской водкой. Результаты проведенного анализа указывают на то, что подложка имеет феррито-перлитную структуру. На первых слоях наплавленного слоя встречается игольчатый мартенсит, что подтверждено результатами измерения микротвердости. Последующие слои наплавленных образцов представлены аустенитной кристаллической структурой. Причем структура имеет вытянутое (дендритное) строение, что присуще структурам образцов, полученных методом дуговой наплавки.

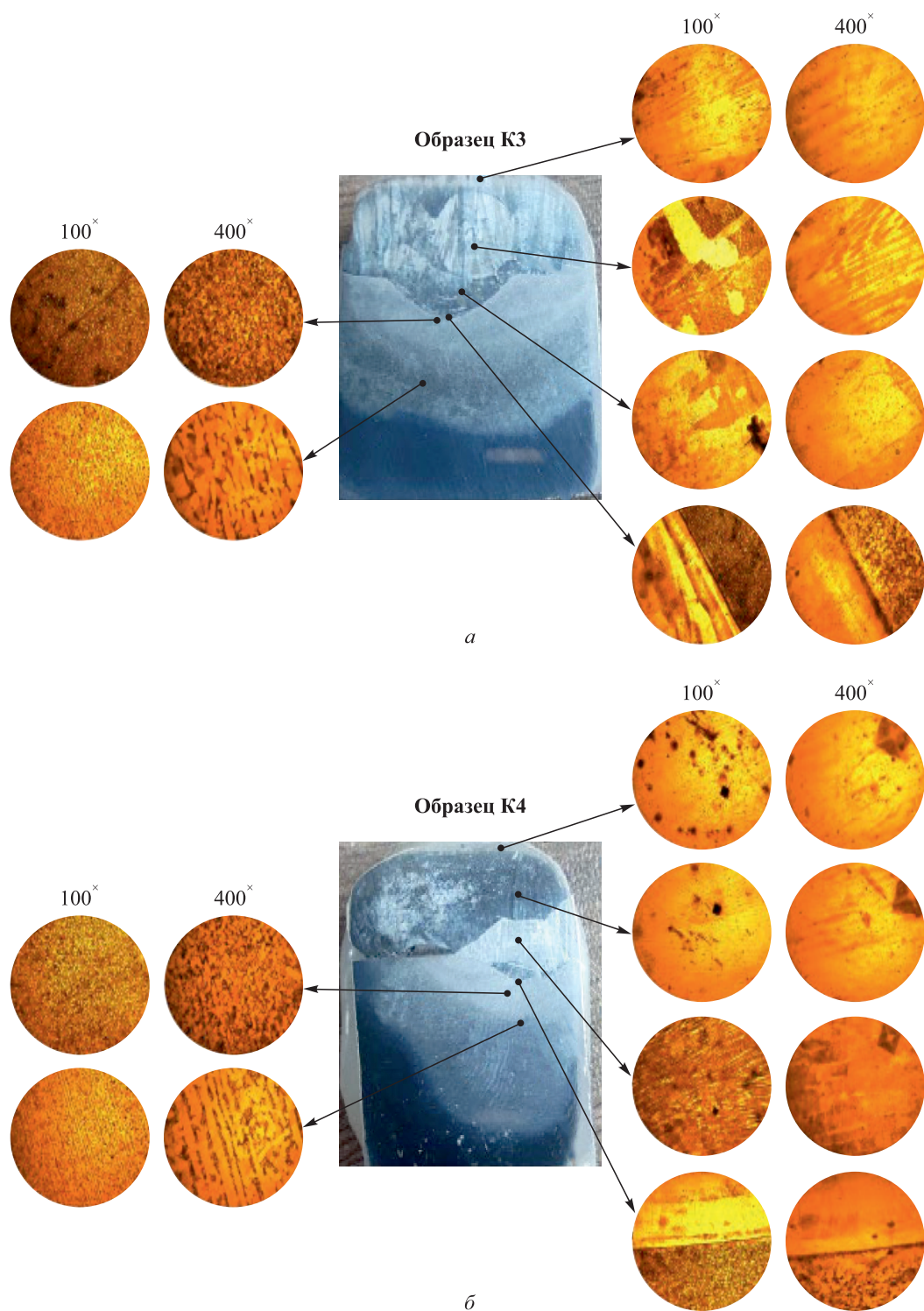


Рис. 4. Микроструктура образцов К3 (а) и К4 (б)

Fig. 4. Microstructure of samples K3 (a) and K4 (b)

## Выводы

Проведенные исследования подтвердили принципиальную возможность формирования порошковыми проволоками системы Co–Cr–Fe–Mn–Ni покрытий с содержанием железа 60–70 % и суммарной долей легирующих элементов 30–40 %.

Оценка неметаллических включений показала, что в наплавленных образцах наблюдаются точечные оксиды (балл 2а) и недеформирующиеся силикаты (балл 4а и 4б). Образец К4 характеризуется меньшей загрязненностью по сравнению с К3, при этом слои наплавленных образцов имеют существенно более высокую чистоту, чем подложка из стали 09Г2С.

Микротвердость наплавленного металла незначительно превышает микротвердость подложки. В структуре выявлены локальные зоны (преимущественно в первых слоях), где микротвердость возрастает вдвое, что связано с формированием игольчатого мартенсита.

Микроструктурный анализ показал, что начальные слои наплавки содержат игольчатый мартенсит, тогда как последующие слои имеют аустенитную кристаллическую решётку с вытянутой дендритной морфологией, характерной для дуговой наплавки.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Михайлицын С.В., Зверева И.Н., Шекшеев М.А. Сварочные и наплавочные материалы. Москва: Инфра-Инженерия; 2020:228.
2. Износостойкие наплавки: свойства, структура и фазовый состав / С.В. Райков, В.Е. Громов, Р.Е. Крюков, А.С. Князев. Новокузнецк: Полиграфист; 2024:179.
3. Varinov S.V., Zagorodskikh B.P., Simdyankin A.A. A study of the wear resistance of parts with an inhomogeneous friction surface. *Journal of Friction and Wear*. 2003;24(5):568–572.
4. Козырев Н.А., Шурупов В.М., Кушнаренко Н.Н., Козырева О.Е., Титов Д.А. Использование вольфрамсодержащих руд при наплавке. *Известия вузов. Черная металлургия*. 2015;58(8):567–571. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2015-8-567-571>  
Kozyrev N.A., Shurupov V.M., Kushnarenko N.N., Kozyreva O.E., Titov D.A. The usage of tungsten-containing ores at welding. *Izvestiya. Ferrous metallurgy*. 2015;58(8):567–571. (In Russ.). <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2015-8-567-571>
5. Kumar V.A., Murty S.V.S.N., Gupta R.K., Rao A.G., Prasad M.J.N.V. Effect of boron on microstructure evolution and hot tensile deformation behavior of Ti-5Al-5V-5Mo-1Cr-1Fe alloy. *Journal of Alloys and Compounds*. 2020;831:154672. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2020.154672>
6. Artem'ev A.A., Sokolov G.N., Zorin I.V., Dubtsov Yu.N., Antonov A.A., Lysak V.I. Formation of structure in clad abrasion-resistant alloys of the Fe – Cr – C – Mo – Ni – Ti – B system under the effect of ultrafine particles of titanium nitride. *Metal Science and Heat Treatment*. 2020;61(11-12):724–730. <https://doi.org/10.1007/s11041-020-00490-8>
7. Winkelmann H., Badisch E., Varga M., Danninger H. Wear mechanisms at high temperatures. Part 3: Changes of the wear mechanism in the continuous impact abrasion test with increasing testing temperature. *Tribology Letters*. 2010;37(2):419–429. <https://doi.org/10.1007/s11249-009-9534-3>
8. Kolokolov E.I., Pirozhkov R.V., Tomilin S.A. Applicability of 110G13P type powder steel for production of consolidation details of high parameters power fittings. *In the World of Scientific Discoveries, Series B*. 2014;2(2):29–35.
9. Козырев Н.А., Титов Д.А., Старовацкая С.Н., Шурупов В.М., Горюшкин В.Ф. Изучение влияния введения в шихту для производства порошковой проволоки системы C – Si – Mn – Cr – W – V углеродфторсодержащей добавки и никеля. *Известия вузов. Черная металлургия*. 2014;57(6):31–33. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2014-6-31-33>
10. Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Шурупов В.М., Кибко Н.В., Башенко Л.П. Изучение процесса восстановления вольфрама из оксида при наплавке порошковыми проволоками. *Известия вузов. Черная металлургия*. 2019;62(3):215–221. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2019-3-215-221>  
Kozyrev N.A., Kryukov R.E., Shurupov V.M., Kibko N.V., Bashchenko L.P. Tungsten recovery from oxide during flux cord wire surfacing. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2019;62(3):215–221. (In Russ.). <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2019-3-215-221>
11. Tseng S.F., Hung T.Y., Chang C.M. Mechanical and microstructural properties of additively manufactured Ti–6Al–4V stents with CO<sub>2</sub> laser postannealing treatment. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2022;119(9-10):6571–6581. <https://doi.org/10.1007/s00170-021-08381-9>
12. Григоренко Г.М., Коржик В.Н., Адеева Л.И., Туник А.Ю., Степанюк С.Н., Карпец М.В., Дорошенко Л.К., Лютик Н.П., Чайка А.А. Особенности металлургических процессов при плазменно-дуговом напылении покрытий, полученных из порошковой проволоки со стальной оболочкой и наполнителями В<sub>4</sub>С и В<sub>4</sub>С+ZrO<sub>2</sub>. *Вестник Приазовского государственного технического университета. Серия: Технические науки*. 2016;(32):125–137.  
Grigorenko G.M., Korzhik V.N., Adeeva L.I., Tunik A.Yu., Stepanyuk S.N., Karpets M.V., Doroshenko L.K., Lyutik N.P., Chaika A.A. Peculiar features of metallurgical processes at plasma-arc spraying of coatings, made of steel wire with powder fillers В<sub>4</sub>С and В<sub>4</sub>С+ZrO<sub>2</sub>. *Bulletin of the Azov State Technical University. Series: Technical Sciences*. 2016;(32):125–137. (In Russ.).
13. Peleshenko S., Korzhyk V., Voitenko O., Khaskin V., Tkachuk V. Analysis of the current state of additive welding technologies for manufacturing volume metallic products (review). *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017;3(1(87)):42–52. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.99666>
14. Sheksheev M.A., Shiriaeva E.N., Mikhailitsyn S.V. Investigation of the influence of ultrafine particles of refractory materials on the formation of the structure and properties of the deposited metal. *AIP Conference Proceedings*. 2022;2503(1):060007. <https://doi.org/10.1063/5.0099350>
15. Krokhaliev A.V., Kharlamov V.O., Kuz'min S.V., Lysak V.I., Grinberg B.A. Fine structure of interphase boundaries in hard alloys of the chromium carbide–titanium system. *Russian Journal of Non-Ferrous Metals*. 2016;57(5):504–508. <https://doi.org/10.3103/S1067821216050096>
16. Malushin N.N., Romanov D.A., Kovalev A.P., Osetkovskii V.L., Bashchenko L.P. Structural-phase state of a high-hardness heatresistant alloy formed by plasma cladding in a nitrogen atmosphere and high-temperature tempering. *Russian Physics Journal*. 2020;62(10):1865–1870. <https://doi.org/10.1007/s11182-020-01917-8>
17. Малушин Н.Н., Валуев Д.В. Плазменная наплавка и азотирование наплавленных деталей горно-металлур-

гического комплекса. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2012;(12):105–108.

Malushin N.N., Valuev D.V. Plasma surfacing and nitriding of deposited parts of the mining and metallurgical complex. *Mining Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2012;(12):105–108. (In Russ.).

18. Belkahla Y., Mazouzi A., Lebouachera S.El.I., Hassan A.J., Fides M., Hvizdoš P., Cheniti B., Miroud D. Rotary friction welded C45 to 16NiCr6 steel rods: statistical optimization coupled to mechanical and microstructure approaches. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2021;116(7):2285–2298.  
<https://doi.org/10.1007/s00170-021-07597-z>
19. Liu J.-Z., Zhang L.-J., Yang H.-X., Xie M.-X., Shang X.-T., Zhang J.-X. Enhancement of corrosion protection performance of SUS304/Q235B dissimilar metals lap joint through fiber laser. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2018;96(1-4):789–802.  
<https://doi.org/10.1007/s00170-018-1634-5>
20. Zavadoveev A., Pozniakov V., Baudin T., Kim H.S., Klochkov I., Motrunich S., Heaton M., Aquier P., Rogante M.,

Denisenko A., Gajvoronskiy A., Skoryk M. Optimization of the pulsed arc welding parameters for wire arc additive manufacturing in austenitic steel applications. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2022;119(7-8):5175–5193.

<https://doi.org/10.1007/s00170-022-08704-4>

21. Yadaiah N., Bag S., Paul C.P., Kukreja L.M. Influence of self-protective atmosphere in fiber laser welding of austenitic stainless steel. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2016;86(1-4):853–870.  
<https://doi.org/10.1007/s00170-015-8194-8>
22. Liu H.H., Wang L.B., Liu W.J., Li L.Y., Yue J.F. Influence of AC magnetic field on the cladding layer during the micro beam plasma welding of austenitic stainless steel. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2018;97(9):3459–3468.  
<https://doi.org/10.1007/s00170-018-2182-8>
23. Разработка технологии изготовления электродов и порошковых проволок для сварки и родственных процессов: учебно-методическое пособие / А.С. Табатчиков, Ю.С. Коробов, Н.М. Разиков, Л.А. Онищенко; под общ. ред. Ю.С. Коробова. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та; 2023:112.

## Сведения об авторах

## Information about the Authors

**Роман Евгеньевич Крюков**, д.т.н., профессор кафедры механики и машиностроения, Сибирский государственный индустриальный университет

ORCID: 0000-0002-3394-7941

E-mail: rek\_nzrmk@mail.ru

**Сергей Валерьевич Коновалов**, д.т.н., проректор по научной и инновационной деятельности, Сибирский государственный индустриальный университет

ORCID: 0000-0003-4809-8660

E-mail: konovalov@sibsiu.ru

**Алексей Романович Михно**, директор НПЦ «Сварочные процессы и технологии», Сибирский государственный индустриальный университет

ORCID: 0000-0002-7305-6692

E-mail: mikno-mm131@mail.ru

**Ирина Алексеевна Панченко**, к.т.н., старший научный сотрудник управления научных исследований, Сибирский государственный индустриальный университет

ORCID: 0000-0002-1631-9644

E-mail: i.r.ss@yandex.ru

**Roman E. Kryukov**, Dr. Sci. (Eng.), Prof. of the Chair of Mechanics and Machine Engineering, Siberian State Industrial University

ORCID: 0000-0002-3394-7941

E-mail: rek\_nzrmk@mail.ru

**Sergei V. Konovalov**, Dr. Sci. (Eng.), Vice-Rector for Research and Innovation, Siberian State Industrial University

ORCID: 0000-0003-4809-8660

E-mail: konovalov@sibsiu.ru

**Aleksei R. Mikhno**, Director of the Scientific and Production Center “Welding Processes and Technologies”, Siberian State Industrial University

ORCID: 0000-0002-7305-6692

E-mail: mikno-mm131@mail.ru

**Irina A. Panchenko**, Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher of the Department of Scientific Research, Siberian State Industrial University

ORCID: 0000-0002-1631-9644

E-mail: i.r.ss@yandex.ru

## Вклад авторов

## Contribution of the Authors

**Р. Е. Крюков** – формирование основной идеи исследований, разработка плана исследований, постановка задач, анализ результатов исследований.

**С. В. Коновалов** – анализ результатов исследований, консультирование в проведении исследований

**А. Р. Михно** – обработка полученных результатов, оформление статьи.

**И. А. Панченко** – организация исследований образцов, анализ результатов исследований.

**R. E. Kryukov** – formation of the research main idea, development of the research plan, setting tasks, analysis of results.

**S. V. Konovalov** – analysis of results, consulting in conducting research

**A. R. Mikhno** – processing of results, design of the article.

**I. A. Panchenko** – organization of the samples research, analysis of results.

Поступила в редакцию 09.06.2025

После доработки 27.03.2026

Принята к публикации 01.04.2026

Received 09.06.2025

Revised 27.05.2026

Accepted 01.04.2026