

Известия Алтайского государственного университета. 2026. № 1 (147). С. 71–77.
Izvestiya of Altai State University. 2026. No 1 (147). P. 71–77.

Научная статья
УДК 669.14.018.252
[https://doi.org/10.14258/izvasu\(2026\)1-09](https://doi.org/10.14258/izvasu(2026)1-09)

Плазменное покрытие быстрорежущей молибденовой стали: структурно-фазовые состояния и свойства

Алексей Борисович Юрьев¹, Ирина Викторовна Баклушина²,
Юрий Федорович Иванов³, Игорь Юрьевич Литовченко⁴

¹Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия, rector@sibsiu.ru

²Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия, baklushina_iv@sibsiu.ru

³Институт сильноточной электроники СО РАН, Томск, Россия, yufi55@mail.ru

⁴Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия, litovchenko@spti.tsu.ru

Original article

Plasma Coating of Molybdenum High-Speed Steel: Structural Phase States and Properties

Alexey B. Yuryev¹, Irina V. Baklushina², Yuri F. Ivanov³, Igor Yu. Litovchenko⁴

¹Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia, rector@sibsiu.ru

²Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia, baklushina_iv@sibsiu.ru

³Institute of High-Current Electronics SB RAS, Tomsk, Russia, yufi55@mail.ru

⁴Institute of Strength Physics and Materials Science SB RAS, Tomsk, Russia, litovchenko@spti.tsu.ru

Аннотация. Изучены структура, механические и трибологические свойства поверхности плазменно-наплавленного слоя в среде азота быстрорежущей молибденовой стали на подложку из среднеуглеродистой стали 30ХГСА. Установлено, что наплавленный слой имеет поликристаллическую структуру и содержит прослойки эвтектики. Зерна эвтектики сформированы чередующимися слоями карбида типа $Me_{23}C_6$ или Me_6C и слоями α -фазы. Вдоль границ зерен α -фазы обнаруживаются монолитные включения карбидов типа $Me_{23}C_6$ или Me_6C . Многофазная структура наплавленного слоя представлена α -фазой (твердый раствор на основе ОЦК кристаллической решетки Fe), γ -фазой (твердый раствор на основе ГЦК кристаллической решетки Fe), карбидами сложного состава $Me_{23}C_6$ и Me_6C , карбидом железа состава Fe_2C . Формирование наплавленного слоя сопровождается мартенситным $\gamma \rightarrow \alpha$ превращением с образованием структуры пластинчатого мартенсита. Нанотвердость наплавленного слоя достигает 14 ГПа, модуль Юнга равен 257,9 ГПа, параметр износа $2,04 \cdot 10^{-6} \text{ мм}^3/\text{Н}\cdot\text{м}$, коэффициент трения 0,75.

Abstract. The paper studies the structure and mechanical and tribological properties of the plasma coated layer surface of molybdenum high-speed steel on a substrate of medium-carbon steel 30KhGSA in a nitrogen environment. It is found that the coated layer has a polycrystalline structure and contains eutectic interlayers. The eutectic grains are formed by alternating layers of $Me_{23}C_6$ or Me_6C carbide and layers of the α -phase. There are monolithic inclusions of $Me_{23}C_6$ or Me_6C carbides along the grain boundaries of the α -phase. The multiphase structure of the coated layer is represented by the α -phase (solid solution based on the bcc crystal lattice of Fe), γ -phase (solid solution based on the fcc crystal lattice of Fe), carbides of complex composition $Me_{23}C_6$ and Me_6C , and Fe_2C iron carbide. The formation of the coated layer is accompanied by a martensitic $\gamma \rightarrow \alpha$ transformation with the formation of a lamellar martensite structure. The nanohardness of the coated layer reaches 14 GPa, the Young's modulus is 257.9 GPa, the wear parameter is $2.04 \cdot 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{N m}$, and the friction coefficient is 0.75.

Ключевые слова: структура, фазовый состав, свойства, быстрорежущая молибденовая сталь, покрытие, плазменный метод

Для цитирования: Юрьев А.Б., Баклушина И.В., Иванов Ю.Ф., Литовченко И.Ю. Плазменное покрытие быстрорежущей молибденовой стали: структурно-фазовые состояния и свойства // Известия Алтайского государственного университета. 2026. № 1 (147). С. 71–77. [https://doi.org/10.14258/izvasu\(2026\)1-09](https://doi.org/10.14258/izvasu(2026)1-09).

Финансирование: работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 23-19-00186, <https://rscf.ru/project/23-19-00186>.

Введение

История создания и исследования быстрорежущих сталей насчитывает более века [1]. Она началась с классической вольфрамовой быстрорежущей стали Р18, а в настоящий момент марочники и каталоги ведущих стран содержат информацию о нескольких десятках сталей. Их номенклатура определяется конкретными потребностями машиностроительной, металлургической, горнодобывающей отраслей промышленности, а состав зависит от свойств обрабатываемых материалов, технологий производства и конструкций изделий, стоимости легирующих элементов и других факторов. Процессы, происходящие на поверхности ответственных деталей и машин в зоне трения, во многом определяют преждевременный выход их из строя при абразивном, ударно и гидроабразивном износе, коррозии. Поэтому разработки и исследования в области повышения износостойкости поверхностных слоев являются актуальными и имеющими практическую ценность. Одним из перспективных способов решения этой важной народнохозяйственной проблемы является применение плазменного нанесения покрытий быстрорежущими сталями [2, 3], как наиболее полно отвечающее требованиям промышленности как с экономической точки зрения, так и по уровню достигаемых эксплуатационных свойств. Использование при этом азота в качестве легирующего элемента обеспечивает существенный рост свойств из-за образования нитридов и карбонитридов [4–6].

В последнее время отмечается рост использования молибденовых быстрорежущих сталей с содержанием Мо в количестве 8–10 %, который оказывает подобное W влияние на структурно-фазовое состояние и свойства быстрорежущих сталей [7, 8]. Такие

Keywords: structure, phase composition, properties, molybdenum high-speed steel, coating, plasma method

For citation: Yuryev A.B., Baklushina I.V., Ivanov Yu.F., Litovchenko I.Yu. Plasma Coating of Molybdenum High-Speed Steel: Structural Phase States and Properties. *Izvestiya of Altai State University*. 2026. No 1 (147). P. 71–77. (In Russ.). [https://doi.org/10.14258/izvasu\(2026\)1-09](https://doi.org/10.14258/izvasu(2026)1-09).

Funding: the study was supported by the Russian Science Foundation grant No 23-19-00186, <https://rscf.ru/project/23-19-00186>.

Мо стали обладают более высокими эксплуатационными характеристиками по сравнению с вольфрамовыми и вольфраммолибденовыми быстрорежущими сталями в связи с рядом факторов, поскольку, например, при отжиге и термомеханической обработке формируется более мелкозернистая структура, а растворимость Мо в аустените этих сталей выше [9]. Кроме того, W более дорогой и дефицитный по сравнению с Мо.

В отечественной и зарубежной литературе нет публикаций по электронно-микроскопическим исследованиям природы формирования структуры, фазового состава, дефектной субструктуры и свойств плазменно нанесенных покрытий молибденовыми быстрорежущими сталями, авторы работ [9, 10] фиксируют лишь качественные данные по Мо наплавкам быстрорежущими сталями. Перспективы практического применения такого вида поверхностной обработки должны базироваться на знании механизмов образования структурно-фазовых состояний и их эволюции при последующей термообработке.

В связи с вышеизложенным целью работы являлось исследование тонкой структуры и свойств поверхностного слоя, сформированного плазменной наплавкой быстрорежущей молибденовой стали на подложку из среднеуглеродистой стали.

Материал и методы исследования

Для формирования наплавленного слоя использовалась порошковая проволока системы MoCrCoSi диаметром 4 мм. Образцы для исследований получали плазменной наплавкой в среде азота на сталь 30ХГСА. Режим формирования наплавленного слоя приведен в таблице 1. Наплавку проводили в четыре слоя общей толщиной ~10 мм.

Таблица 1

Режимы формирования наплавленного слоя стали М9

Сварочный ток, А	Напряжение на дуге, В	Скорость наплавки, м/ч	Скорость подачи проволоки, м/ч	Длина дуги, мм
145–150	50–55	18	60	20

Химический состав стали 30ХГСА (вес. %): С — 0,3; Cr — 0,9; Mn — 0,8; Si — 0,9, остальное — Fe. Химический состав наплавленного слоя соответствует стали М9 по SAE-AISI М9 (Т11309) Molybdenum High-Speed Steel (вес. %): Mo — 8,85; Cr — 3,57; Co — 2,12; V — 0,05; Si — 1,12; Mn — 0,56; Al — 1,05, остальное — Fe. В качестве плазмообразующего газа использовали аргон высшего сорта (ГОСТ 10157-79) с расходом 6–8 л/мин; в качестве защитного газа использовали технически чистый азот (ГОСТ 9293-74) с расходом 20–22 л/мин. Режимы плазменной наплавки на установке УД-417 не отличались от описанных в работах [2, 11, 12].

Фазовый состав наплавленного слоя изучали методами рентгеноструктурного анализа. Использовали рентгеновский дифрактометр ДРОН-8Н.

Идентификация фазового состава, качественный и количественный фазовый анализ, а также уточнение параметров структуры выполнены при помощи программного комплекса «КДА — Кристаллография и дифракционный анализ» со встроенной картотекой порошковых стандартов (АО ИЦ «Буревестник», версия 2023-01-24-144022.8dec10c0f).

Структуру и элементный состав наплавленного слоя изучали методами сканирующей электронной микроскопии (прибор КУКУ-ЕМ6900 с термоэмиссионным вольфрамовым катодом и приставкой для микрорентгеноспектрального анализа элементного состава).

Дефектную субструктуру, элементный и фазовый состав наплавленного слоя исследовали методами просвечивающей электронной дифракционной микроскопии тонких фольг в режиме на просвет и в режиме сканирования (прибор JEOL JEM-2100, Япония). Метод микродифракционного анализа с привлечением темнопольной методики использовали для анализа фазового состава материала [13–15].

Результаты исследования и обсуждение

Установлено, что твердость наплавленного материала в приповерхностном слое достигает 14,1 ГПа при среднем значении по толщине наплавки 12,4 ГПа. Твердость подложки средняя составляет 3,2 ГПа и существенно (в 3,9 раза) отличается от твердости наплавленного металла. Модуль Юнга также максимален (257,9 ГПа) в приповерхностном слое наплавки и сравнительно плавно снижается до 190 ГПа в подложке.

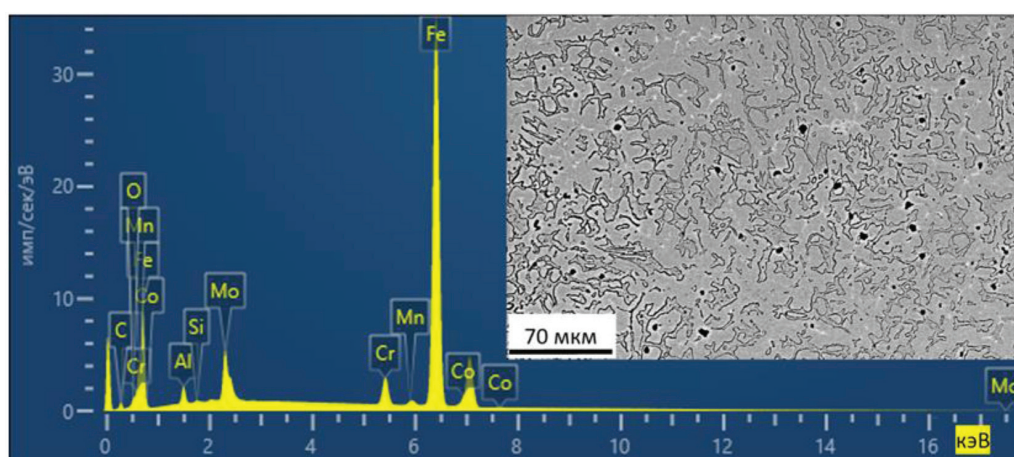


Рис. 1. Энергетические спектры наплавленного на сталь 30ХГСА слоя стали М9, полученные методами микрорентгеноспектрального анализа

Методами микрорентгеноспектрального анализа энергетических спектров, полученных с наплавленного слоя (рис. 1), было установлено, что кроме химических элементов проволоки, использованной при наплавке, в наплавленном слое присутствуют атомы кислорода, что указывает на окисление поверхностного слоя материала (см. рис. 2).

Проанализированное методом картирования распределение химических элементов (см. табл. 2) показало неоднородное распределение атомов Mo, Al, Si, O. Сравнение взаимного расположения атомов Al, Si и O позволяет предполагать образование оксидов алюминия и кремния, а также алюмосиликатов.

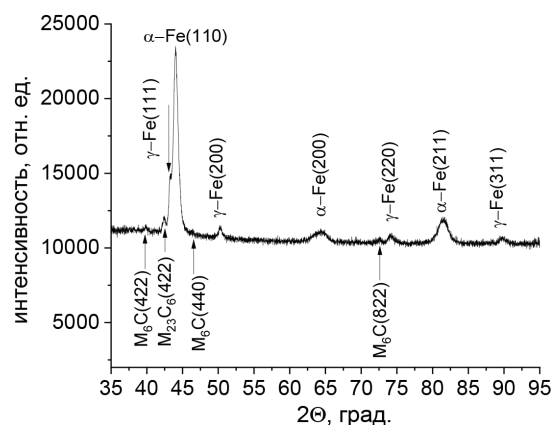


Рис. 2. Фрагмент рентгенограммы наплавленного слоя

Таблица 2

Результаты микрорентгеноспектрального анализа
поверхностного слоя наплавки

Элемент	Вес, %	Ат., %
C	5,56	21,27
O	0,97	2,8
Al	1,5	2,54
Si	0,12	0,19
Cr	3,37	2,97
Mn	0,32	0,27
Fe	79,73	65,56
Co	1,2	0,94
Mo	7,22	3,46

Анализ рентгенограмм, полученных при рентгеноструктурном исследовании фазового состава, свидетельствует о формировании в наплавленном слое многофазной структуры, представленной α -фазой (твердый раствор на основе ОЦК кристаллической

решетки Fe), γ -фазой (твердый раствор на основе ГЦК кристаллической решетки Fe), карбида железа состава Fe_2C , карбидов сложного состава $Me_{23}C_6$ и Me_6C . Как и следовало ожидать, основной фазой является твердый раствор на основе α -Fe (65 мас. %); в существенно меньшем количестве присутствует твердый раствор на основе γ -Fe (12 мас. %); относительное содержание карбидных фаз достигает 23 мас. %, при этом преобладающими являются карбиды сложного состава $Me_{23}C_6$ и Me_6C . Следует отметить, что параметры кристаллических решеток α - и γ -фаз значительно превышают табличные значения параметров кристаллических решеток α - и γ -Fe (табл. 3). Это указывает на формирование в наплавленном слое твердых растворов замещения и внедрения на основе железа.

Таблица 3

Расчетные данные, полученные из рентгенограммы наплавленного слоя

Фаза	Доля фазы, мас. %	Параметры решетки, Å	Размеры ОКР, нм
α -Fe	65	a=2.887	52
γ -Fe	12	a=3.598	34
$Me_{23}C_6$	11	a=10.466	23
Me_6C	7	a=11.002	28
Fe_2C	5	a=2.701 c=4.449	13

Просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ) показала, что в зернах наблюдается пластинчатая структура, что может свидетельствовать о мартенситной природе формирования структуры α -фазы (рис. 3а). По границам зерен наблюдаются протяженные прослойки, имеющие строение, характерное для эвтектического превращения, т.е. по границам зерен располагается эвтектика пластинчатого типа (рис. 3б). Методами картирования установлено, что прослойки, расположенные по границам зерен, обогащены преимущественно атомами молибдена, хрома, углерода и железа (рис. 4).

Формирование наплавленного слоя сопровождается мартенситным превращением с образованием структуры преимущественно пластинчатого мартенсита.

Весьма часто в объеме пластин присутствуют тонкие микродвойники превращения. Мартенситное превращение сопровождается формированием в объеме пластин дислокационной субструктуры в виде многослойных сеток (рис. 5а, 5в). Скалярная плотность дислокаций весьма высока и превышает 10^{11} см⁻², что характерно для структуры мартенсита закалки [16]. По границам кристаллов мартенсита наблюдаются прослойки остаточного аустенита, что указывает на незавершенный процесс мартенситного $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения (рис. 5а, 5г). В отдельных случаях остаточный аустенит присутствует в наплавленном материале в виде островков различной формы и размеров. Вдоль границ островков остаточного аустенита выявляются частицы цементита, имеющие форму протяженных прослоек.

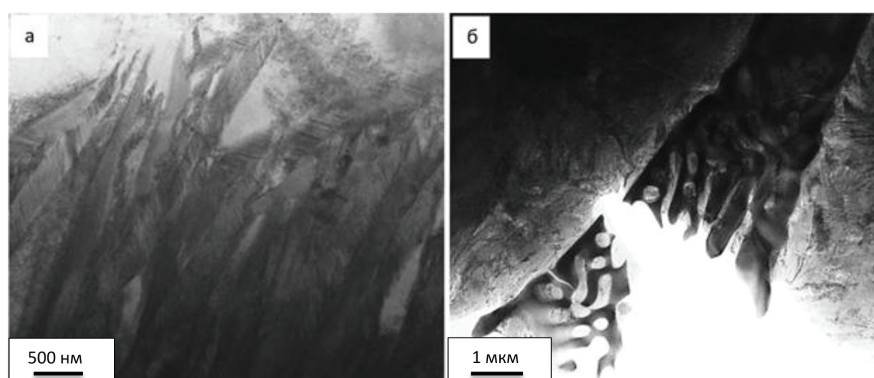


Рис. 3. Электронно-микроскопическое изображение структуры наплавленного слоя в исходном состоянии: а — структура объема зерна; б — структура прослойки, расположенной вдоль границы зерна. Метод STEM анализа

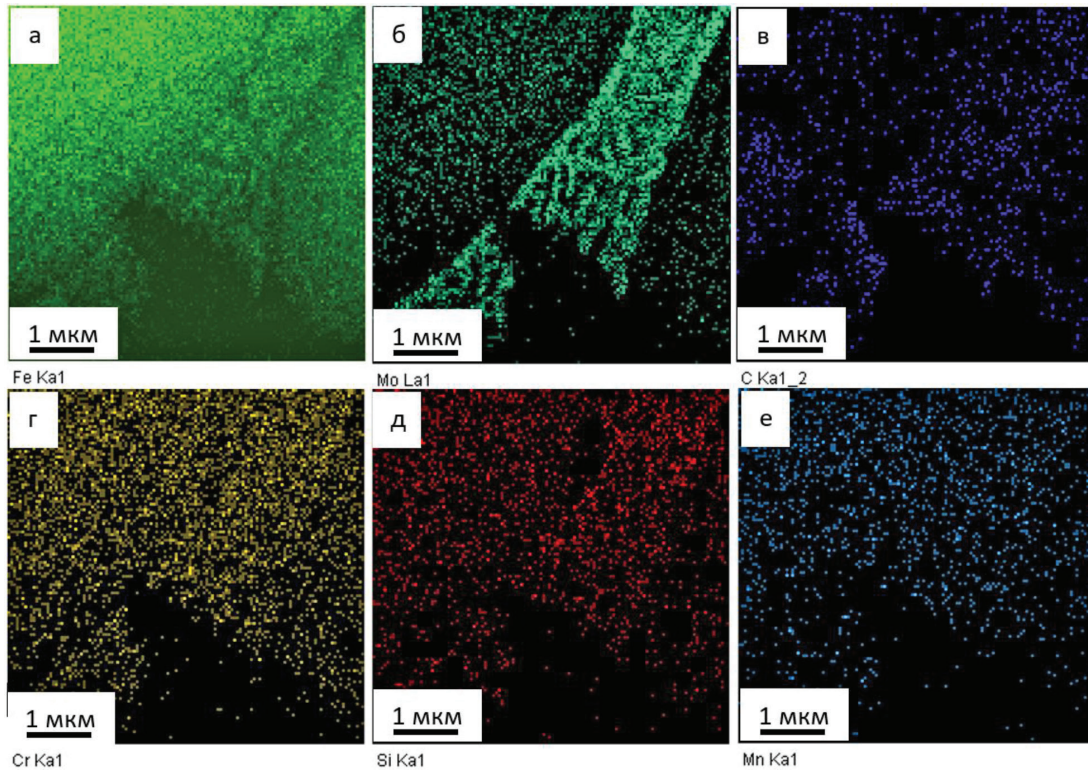


Рис. 4. Карты распределения химических элементов, формирующих наплавленный слой

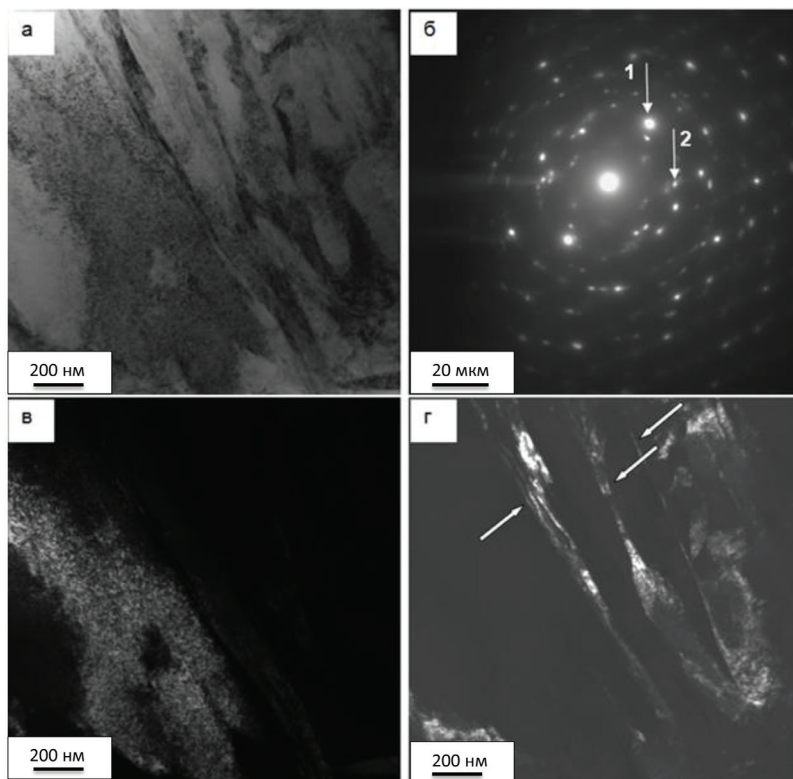


Рис. 5. Электронно-микроскопическое изображение структуры наплавленного слоя: а — светлое поле; б — микроэлектронограмма; в, г — темные поля, полученные в рефлексах $[112]\alpha\text{-Fe}$ (в) и $[112]\alpha\text{-Fe}+[112]\gamma\text{-Fe}$ (г); на (б) стрелками указаны рефлексы, в которых получены темные поля: 1 — для (в); 2 — (г). На (г) стрелками указаны прослойки остаточного аустенита

Анализ темнопольных изображений и микроэлектроннограмм протяженных прослоек вдоль границ зерен α -фазы, образовавшихся при эвтектическом превращении наплавленного слоя, показал, что они являются многофазными образованиями и сформированы прослойками карбидов сложного состава типа $M_{23}C_6$ или M_6C и прослойками α -фазы.

Одновременно с прослойками эвтектического типа располагаются монолитные прослойки карбидов сложного состава типа M_6C или $M_{23}C_6$.

Заключение

Методом плазменной наплавки в среде азота сформировано покрытие толщиной ≈ 9 – 10 мм быстрорежущей молибденовой стали на среднеуглеродистой стали 30ХГСА. Трибологическими и механическими испытаниями установлено, что нанотвердость наплавленного металла составляет 14,1 ГПа, подложки 3,2 ГПа, модуль Юнга равен 257,9 ГПа, параметр износа $2,04 \cdot 10^{-6}$ мм³/Н·м, коэффициент трения 0,75. Наплавленный слой имеет поликристаллическую

структуру и содержит прослойки эвтектики. Выявлено формирование в наплавленном слое многофазной структуры, представленной α -фазой (твердый раствор на основе ОЦК кристаллической решетки Fe), γ -фазой (твердый раствор на основе ГЦК кристаллической решетки Fe), карбидов сложного состава $Me_{23}C_6$ и Me_6C , карбида железа состава Fe_2C . Основной фазой (65 мас. %) является твердый раствор на основе α -Fe. Установлено, что формирование наплавленного слоя сопровождается мартенситным $\gamma \rightarrow \alpha$ превращением с образованием структуры пластинчатого мартенсита. Остаточный аустенит располагается в виде тонких прослоек по границам пластин мартенсит, либо в виде островков в стыках границ зерен. Показано, что зерна эвтектики сформированы чередующимися слоями карбида типа $Me_{23}C_6$ или Me_6C и слоями α -фазы. Реже вдоль границ зерен α -фазы обнаруживаются монолитные включения карбидов типа $Me_{23}C_6$ или Me_6C .

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

1. Kremnev L.S. From High-Speed Tungsten Steel to High-Temperature Molybdenum Steel: A Century of High-Speed Steel // *Steel in Translation*. 2009. Vol. 39. № 12. P. 1111–1118.
2. Громов В.Е., Чапайкин А.С., Невский С.А. Структура, свойства и модели наплавки быстрорежущей стали после отпуска и электронно-пучковой обработки. Новокузнецк: Полиграфист, 2024. 171 с.
3. Chau A.S., Pokorný P., Čaplovič L., et al. Complex fine-scale diffusion coating formed at low temperature on high-speed steel substrate // *Applied Surface Science*. 2018. Vol. 437. P. 257–270. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.12.173>
4. Emelyushin A.N., Petrochenko E.V., Nefed'ev S.P. Investigation of the structure and impact-abrasive resistance of coatings of the Fe-C-Cr-Mn-Si system, additionally alloyed with nitrogen // *Welding International*. 2013. Vol. 27. № 2. P. 150–153.
5. Нефедьев С.П., Емелюшин А.Н. Влияние азота на формирование структуры и свойств плазменных покрытий типа 10P6M5 // *Вестник Югорского государственного университета*. 2021. № 3 (62). С. 33–45. <https://doi.org/10.17816/byusu20210233-45>
6. Емелюшин А.Н., Петроченко Е.В., Нефедьев С.П. Исследование структуры и ударно-абразивной износостойкости покрытий системы Fe-C-Cr-Mn-Si, дополнительно легированных азотом // *Сварочное производство*. 2011. № 10. С. 18–22.
7. Кремнев Л.С., Онегина А.К., Виноградова Л.А. Особенности превращений, структуры и свойств молибденовых быстрорежущих сталей // *Металловедение и термическая обработка металлов*. 2009. № 12 (654). С. 13–19.
8. Кремнев Л.С. Теория легирования и создание на ее основе теплостойких инструментальных сталей и сплавов // *Металловедение и термическая обработка металлов*. 2008. № 11. С. 18–28.
9. Купалова И.К. Фазовый анализ и фазовый состав быстрорежущих сталей (обзор) // *Заводская лаборатория*. 1983. № 1. С. 27–40/
10. Вострецов Г.Н. Деформационная способность наплавленного теплостойкого металла типа P2M8 при мартенситном превращении // *Вестник Сибирского государственного индустриального университета*. 2012. № 1. С. 7–10
11. Иванов Ю.Ф., Громов В.Е., Миненко С.С., Гусева Т.П., Чапайкин А.С., Семин А.П. Структура и свойства поверхностного слоя, полученного плазменной наплавкой из высокоэнтропийной молибденовой быстрорежущей стали, после комплексной обработки // *Материаловедение*. 2025. № 6. С. 15–23.
12. Gromov V.E., Ivanov Yu.F., Yuryev A.B., et al. Modification of transition zone structure of high-speed steel surfacing — substrate by electron-beam treatment // *Вестник Сибирского государственного индустриального университета*. 2025. № 1 (51). С. 43–50.
13. Egerton F.R. *Physical Principles of Electron Microscopy*. Basel: Springer International Publishing, 2016. 196 p.
14. Kumar C.S.S.R. *Transmission Electron Microscopy. Characterization of Nanomaterials*. New York: Springer, 2014. 717 p.
15. Carter C.B., Williams D.B. *Transmission Electron Microscopy*. Berlin: Springer International Publishing, 2016. 518 p.
16. Курдюмов В.Г., Утевский Л.М., Энтин Р.И. Превращения в железе и стали. М.: Наука, 1977. 236с.

References

1. Kremnev L.S. From High-Speed Tungsten Steel to High-Temperature Molybdenum Steel: A Century of High-Speed Steel. *Steel in Translation*. 2009. Vol. 39. No 12. P. 1111–1118.
2. Gromov V.E., Chapaykin A.S., Nevsky S.A. *Structure, Properties and Surfacing Models of High-Speed Steel After Tempering and Electron Beam Treatment*. Novokuznetsk: Poligrafist; 2024. 171 p. (In Russ.).
3. Chaus A.S., Pokorný P., Čaplovič L., et al. Complex Fine-Scale Diffusion Coating Formed at Low Temperature on High-Speed Steel Substrate. *Applied Surface Science*. 2018. Vol. 437. P. 257–270. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.12.173>
4. Emelyushin A.N., Petrochenko E.V., Nefedev S.P. Investigation of the Structure and Impact-Abrasive Resistance of Coatings of the Fe-C-Cr-Mn-Si System, Additionally Alloyed with Nitrogen. *Welding International*. 2013. Vol. 27. No 2. P. 150–153. <https://doi.org/10.1080/09507116.2012.695548>
5. Nefedev S.P., Emelyushin A.N. The Influence of Nitrogen on the Formation of the Structure and Properties of Plasma Coatings of the 10P6M5 Type. *Yugra State University Bulletin*. 2021. No 3 (62). P. 33–45. (In Russ.). <https://doi.org/10.17816/byusu20210233-45>
6. Emelyushin A.N., Petrochenko E.V., Nefedev S.P. Investigation of the Structure and Impact-Abrasive Wear Resistance of Coatings of the Fe-C-Cr-Mn-Si System, Additionally Alloyed with Nitrogen. *Welding International*. 2011. No 10. P. 18–22. (In Russ.).
7. Kremnev L.S., Onegina A.K., Vinogradova L.A. Features of Transformations, Structure and Properties of Molybdenum High-Speed Steels. *Metallovedenie I Termicheskaya Obrabotka Metallov*. 2009. No 12 (654). P. 13–19. (In Russ.).
8. Kremnev L.S. Theory of Alloying and Creation of Heat-Resistant Tool Steels and Alloys Based on It. *Metal Science and Heat Treatment*. 2008. No 11. P. 18–28. (In Russ.).
9. Kupalova I.K. Phase Analysis and Phase Composition of High-Speed Steels (Review). *Industrial Laboratory*. 1983. No 1. P. 27–40. (In Russ.).
10. Vostretsov G.N. Deformation Capacity of Surfacing Heat-Resistant Metal of Type R2M8 During Martensitic Transformation. *Bulletin of the Siberian State Industrial University*. 2012. No 1. P. 7–10. (In Russ.).
11. Ivanov Yu.F., Gromov V.E., Minenko S.S., et al. Structure and Properties of the Surface Layer Obtained by Plasma Surfacing from High-Entropy Molybdenum High-Speed Steel After Comprehensive Treatment. *Materials Sciences Transactions*. 2025. No 6. P. 15–23. (In Russ.).
12. Gromov V.E., Ivanov Yu.F., Yuryev A.B., et al. Modification of Transition Zone Structure of High-Speed Steel Surfacing — Substrate by Electron-Beam Treatment. *Bulletin of the Siberian State Industrial University*. 2025. No 1 (51). P. 43–50.
13. Egerton F.R. *Physical Principles of Electron Microscopy*. Basel: Springer International Publishing, 2016. 196 p.
14. Kumar C.S.S.R. *Transmission Electron Microscopy. Characterization of Nanomaterials*. New York: Springer, 2014. 717 p.
15. Carter C.B., Williams D.B. *Transmission Electron Microscopy*. Berlin: Springer International Publishing, 2016. 518 p.
16. Kurdjumov V.G., Utevsky L.M., Entin R.I. *Transformations in Iron and Steel*. Moscow: Nauka, 1977. 236 p. (In Russ.).

Информация об авторах

А.Б. Юрьев, доктор технических наук, профессор, ректор, Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия;

И.В. Баклушина, заместитель директора Института открытого образования, Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия;

Ю.Ф. Иванов, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник, Институт сильноточной электроники СО РАН, Томск, Россия;

И.Ю. Литовченко, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры физики металлов, старший научный сотрудник лаборатории физики структурных превращений, Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия.

Information about the authors

A.B. Yuryev, Doctor of Sciences in Technology, Professor, Rector of Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia;

I.V. Baklushina, Deputy Director of the Institute of Open Education, Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia;

Yu.F. Ivanov, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Chief Researcher, Institute of High-Current Electronics SB RAS, Tomsk, Russia;

I.Yu. Litovchenko, Doctor of Sciences in Physics and Mathematics, Associate Professor, Professor of the Department of Physics of Metals, Senior Researcher at the Laboratory of Physics of Structural Transformations of the Institute of Strength Physics and Materials Science SB RAS, Tomsk, Russia.