



УДК 621.791.92:621.727:620.178

DOI 10.17073/0368-0797-2023-6-705-708



Краткое сообщение

Short report

ВЛИЯНИЕ ОТПУСКА НА СТРУКТУРУ НАПЛАВЛЕННЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ

Л. П. Бащенко[✉], В. В. Почетука, Т. А. Михайличенко

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

✉ luda.baschenko@gmail.com

Аннотация. Технология плазменной наплавки в защитно-легирующей среде азота с присадочной порошковой проволокой характеризуется высокой производительностью и возможностью легирования наплавленного металла. Стойкость металлических изделий зависит от микроструктуры, химического состава, технологии получения, режимов термической и поверхностной обработок. В статье приведены результаты исследования структуры и микротвердости плазменно-наплавленного в среде азота быстрорежущего сплава Р18Ю на среднеуглеродистую сталь 30ХГСА. Различий в строении наплавочного слоя до 4 мм по глубине не выявлено, но после четырехкратного высокотемпературного отпуска при 580 °С выявлены структурно-фазовые изменения. Значения микротвердости после наплавки и отпуска согласуются с литературными данными.

Ключевые слова: плазменная наплавка, отпуск, быстрорежущий сплав, микроструктура, микротвердость

Благодарности: Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (грант № 23-19-00186 6), <https://rscf.ru/project/23-19-00186>.

Для цитирования: Бащенко Л.П., Почетука В.В., Михайличенко Т.А. Влияние отпуска на структуру наплавленных покрытий из быстрорежущей стали. *Известия вузов. Черная металлургия*. 2023;66(6):705–708. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2023-6-705-708>

INFLUENCE OF TEMPERING ON STRUCTURE OF DEPOSITED HIGH-SPEED STEEL COATINGS

L. P. Bashchenko[✉], V. V. Pochetukha, T. A. Mikhailichenko

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

✉ luda.baschenko@gmail.com

Abstract. The technology of plasma surfacing in a protective-alloying nitrogen medium with an additive powder wire is characterized by high productivity and the possibility of alloying the deposited metal. Durability of metal products depends on microstructure, chemical composition, production technology, modes of thermal and surface treatments. The article presents the results of a study of structure and microhardness of the high speed alloy R18Yu deposited in nitrogen medium on medium-carbon steel 30KhGSA. There were no differences in structure of the surfacing layer up to 4 mm in depth, but after four times high-temperature tempering at 580 °C, structural and phase changes were revealed. The values of microhardness after surfacing and tempering are consistent with the literature data.

Keywords: plasma surfacing, tempering, high-speed alloy, microstructure, microhardness

Acknowledgements: The study was supported by the Russian Science Foundation (grant No. 23-19-00186 6), <https://rscf.ru/project/23-19-00186>.

For citation: Bashchenko L.P., Pochetukha V.V., Mikhailichenko T.A. Influence of tempering on structure of deposited high-speed steel coatings. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2023;66(6):705–708. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2023-6-705-708>

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в области фундаментального материаловедения традиционно привлекает внимание исследователей изучение влияния структурно-фазового

состояния быстрорежущих сплавов на формирование высоких эксплуатационных свойств [1 – 3] и их практическую реализацию [4; 5].

В машиностроении и металлургии для защиты деталей от абразивного износа в качестве наплавочных

материалов широко применяются теплостойкие стали высокой твердости (P18, P6M5, P2M9 и др.), которые обладают высокими служебными свойствами [6–9]. Используется технология плазменной наплавки в защитно-легирующей среде азота с присадочной порошковой проволокой. Эта технология характеризуется высокой производительностью и возможностью легирования наплавленного металла [6–9]. Применительно к износостойким покрытиям азот обеспечивает повышенные ударо- и коррозионную стойкости [6–9]. Стойкость металлических изделий определяется микроструктурой, химическим составом, технологией получения, режимами термической и поверхностной обработки. Однако в литературе недостаточно надежных данных о природе формирования повышенных твердости и износостойкости в быстрорежущем металле, сформированном плазменной наплавкой и последующей термообработкой.

Целью настоящей работы является исследование структуры покрытия из быстрорежущей стали, сформированного высокотемпературной плазмой в среде азота и высокотемпературным отпуском.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследован наплавленный быстрорежущий сплав P18Ю, дополнительно легированный алюминием и азотом, следующего химического состава, % (по массе): С 0,87; Cr 4,41; W 17,00; Mo 0,10; V 1,50; Ti 0,35; Al 1,15; N 0,06. В качестве подложки выступает сталь марки 30ХГСА следующего химического состава, % (по массе): С 0,3; Cr 0,9; Mn 0,8; Si 0,9.

Как и в работах [8; 9] наплавку заготовки осуществляли на установке для плазменной наплавки тел вращения по термическому циклу с низкотемпературным подогревом. Режим наплавки не отличается от описанного в работе [8].

Из верхних слоев наплавленного металла на станке электроискровой резки вырезали образцы, которые подвергали термической обработке (нагрев 580 °С, время выдержки 1 ч, количество отпусков 4). При проведении металлографического исследования применялся оптический микроскоп OLYMPUS GX-51. Накопление карт, спектров профилей ЭДС осуществлялось на сканирующем электронном микроскопе KYKY-EM6900.

Исследования микротвердости проводились методом Виккерса на приборе HVS-1000 с нагрузкой на индентор 1 Н.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно классическим представлениям, формирование структуры в наплавленном слое происходит следующим образом [10]. Из жидкости выделяется обедненный по углероду α -твердый раствор. Далее протекает перитектическая реакция с образованием

кристаллов γ -твердого раствора. Она протекает на поверхности раздела фаз, поэтому образующиеся γ -кристаллы изолируют сердцевину α -кристаллов от жидкости, более богатой углеродом. Дальнейшее протекание перитектической реакции возможно лишь при диффузии углерода и легирующих элементов из жидкости через γ -фазу. Этот процесс в реальных условиях наплавки, когда происходит ускоренное охлаждение поверхностных наплавленных слоев, практически не протекает. Соответственно, в структуре сохраняется некоторое количество α -фазы, которое зависит от скорости охлаждения поверхностного слоя [10].

При последующем охлаждении происходит эвтектоидный распад α -фазы с образованием α -эвтектоида, представляющего собой дисперсную смесь аустенита и карбидов типа Me_6C , а также карбидов цементитного типа.

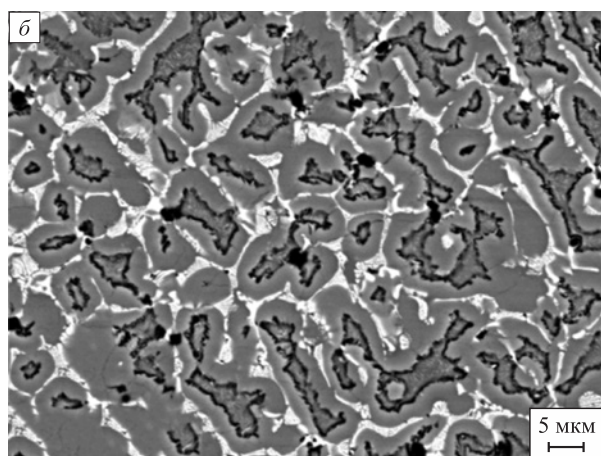
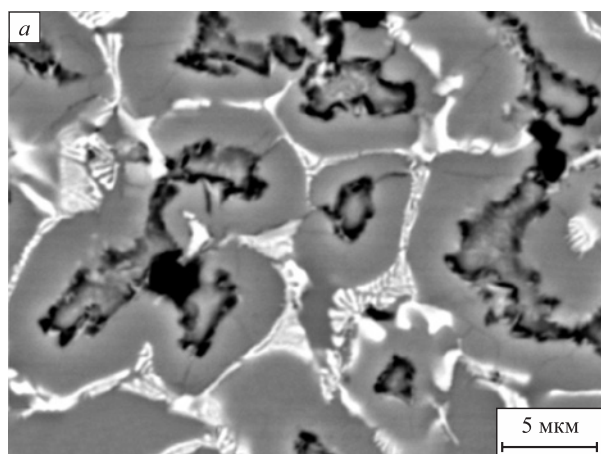
Чем выше скорость охлаждения, тем сильнее неоднородность, обусловленная слабо развивающимся перитектическим превращением. После окончательного затвердевания в структуре имеются зерна, состоящие из трех концентрических слоев: 1 – сердцевина с двухфазной структурой α -эвтектоида; 2 – промежуточный светлый слой (при затвердевании по перитектической реакции здесь образуются γ -кристаллы, которые при быстром охлаждении превращаются в мартенсит и остаточный аустенит); 3 – наружный слой с двухфазной эвтектикой аустенит и карбиды, после охлаждения – мартенсит и карбиды [10].

Анализ микроструктуры с помощью оптической микроскопии показывает, что строение наплавленного слоя представляет собой типичную литую структуру, дисперсность которой практически не зависит от расстояния от поверхности. Это может быть связано с небольшой толщиной наплавленного металла и, соответственно, близкими скоростями охлаждения по глубине наплавленного за один проход слоя.

При значительном увеличении с помощью сканирующей электронной микроскопии, позволяющей детализировать элементы структуры, также не выявлено различий между строением наплавленного слоя на различной глубине от поверхности (см. рисунок).

Выявленная светлая оболочка представляет собой кристаллы мартенсита и остаточного аустенита, образовавшихся при ускоренном охлаждении из γ -фазы, участвующей в перитектической реакции. Первичные карбиды типа Me_6C скелетообразной формы располагаются внутри светлой оболочки. Присутствие таких карбидов снижает вязкость стали, поэтому их стараются разрушить тем или иным способом. Темные участки представляют собой двухфазную эвтектическую структуру, после затвердевания состоящую из карбидов, мартенсита и остаточного аустенита.

Поскольку наплавка проводилась в среде азота, то должны образовываться карбиды, содержащие азот или карбонитриды. Как было показано в работах [6; 7], обра-



Электронно-микроскопические изображения наплавленного слоя на расстоянии 2000 мкм (а) и 4000 мкм (б)

Electron microscopic images of the deposited layer at a distances of 2000 μm (a) and 4000 μm (b)

зуются комплексные карбиды типа $\text{Fe}_3(\text{W}-\text{Mo}-\text{N}-\text{V})_3\text{C}$. Возможно образование нитридов Fe_4N .

После четырехкратного высокого отпуска при температуре 580 °С с выдержкой в течение 1 ч и последующего охлаждения на воздухе в наплавленном слое выявляются структурные изменения. В местах нахождения мартенсита и аустенита остаточного происходит их преобразование в мартенсит отпущенный с повышенной травимостью и выделение дисперсных карбидов типа MeC , Me_6C .

Определение микротвердости на поверхности образцов после наплавки и четырехкратного высокого отпуска проводилось в автоматическом режиме с шагом 100 мкм. Микротвердость наплавленного слоя несколько ниже, чем этого же слоя после четырехкратного отпуска (см. таблицу).

После четырехкратного отпуска в результате распада остаточного аустенита, образования мартенсита отпущенного и выделения дисперсных карбидов общая микротвердость незначительно повысилась и ее распределение стало более однородным (см. таблицу), что согласуется с известными литературными данными [10].

Распределение микротвердости в наплавленном слое на различном расстоянии от поверхности исследуемого материала после наплавки и после четырехкратного отпуска

Distribution of microhardness in the deposited layer
at different distances from the surface of the test material
after surfacing and after four-time tempering

Микротвердость быстрорежущей стали Р18Ю, МПа, на расстоянии от поверхности образца			
после наплавки		после наплавки и высокотемпературного отпуска	
1000 мкм	3000 мкм	1000 мкм	3000 мкм
48,20	49,82	55,15	51,72
46,37	45,58	53,88	52,53
46,37	48,13	60,14	51,40
50,45	43,96	50,15	50,52
46,84	47,42	55,28	51,35
41,22	33,59	54,39	63,13
46,99	48,63	54,26	49,30
34,16	44,11	49,13	55,67
46,99	47,31	54,26	51,96
45,43	44,39	55,26	55,25

Выводы

Методами оптической и сканирующей электронной микроскопии и измерения микротвердости проведены исследования влияния отпуска на структуру покрытия из быстрорежущей стали Р18Ю, сформированного при плазменной наплавке в среде азота порошковой проволокой. Отмечено формирование ячеек с аустенитно-мартенситной структурой и незначительный рост микротвердости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Wang Y., Mao B., Chu S., Chen S., Xing H., Zhao H., Wang S., Wang Y., Zhang J., Sun B. Advanced manufacturing of high-speed steels: A critical review of the process design, microstructural evolution, and engineering performance. *Journal of Materials Research and Technology*. 2023;24:8198–8240. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.04.269>
2. Wang H., Hong D., Hou L., Ou P., Wang Z., Shen L., Zhao H. Influence of tempering temperatures on the microstructure, secondary carbides and mechanical properties of spray-deposited AISI M3:2 high-speed steel. *Materials Chemistry and Physics*. 2020;255:123554. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2020.123554>
3. Lyu C., Zhou J., Zhang X., Yao Y., Zhang Y. Effect of heat treatment on microstructure and impact toughness of a Tungsten-Molybdenum powder metallurgical high-speed steel. *Materials Science and Engineering: A*. 2021;815:141268. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2021.141268>

4. Wang Y., Chu S., Mao B., Xing H., Zhang J., Sun B. Microstructure, residual stress, and mechanical property evolution of a spray-formed vanadium-modified high-speed steel processed by post-heat treatment. *Journal of Materials Research and Technology*. 2022;18:1521–1533. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.03.053>
5. Pan Yu, Pi Z., Liu B., Xu W., Zhang C., Qu X., Lu X. Influence of heat treatment on the microstructural evolution and mechanical properties of W6Mo5Cr4V2Co5Nb (825 K) high speed steel. *Materials Science and Engineering: A*. 2020;787:139480. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2020.139480>
6. Нефедьев С.П., Емелюшин А.Н. Влияние азота на формирование структуры и свойств плазменных покрытий типа 10P6M5. *Вестник Югорского государственного университета*. 2021;(3(62)):33–45. <https://doi.org/10.17816/byusu20210333-45>
Nefediev S.P., Emelyushin A.N. The influence of nitrogen on the formation of the structure and properties of plasma coatings of type 10P6M5. *Bulletin of the Ugra State University*. 2021;(3(62)):33–45. (In Russ.). <https://doi.org/10.17816/byusu20210333-45>
7. Shaikhutdinova L.R., Khairtdinov E.F., Khusainov Yu.G. Effect of ion nitriding on the structural and phase composition and mechanical properties of high-speed steel R6M5 after SPD. *Metal Science and Heat Treatment*. 2020;62(2): 263–268. <https://doi.org/10.1007/s11041-020-00546-9>
8. Малушин Н.Н., Громов В.Е., Романов Д.А., Бащенко Л.П., Перегудов О.А. Упрочнение теплостойких сплавов плазмой в среде азота. Новокузнецк: Полиграфист; 2022:232.
9. Малушин Н.Н., Громов В.Е., Романов Д.А., Бащенко Л.П., Ковалев А.П. Разработка комплексной технологии упрочнения валков холодной прокатки плазменной наплавкой. *Заготовительные производства в машиностроении*. 2023;21(7):296–302. <https://doi.org/10.36652/1684-1107-2023-21-7-296-302>
Malushin N.N., Gromov V.E., Romanov D.A., Bashchenko L.P., Kovalev A.P. Development of complex technology of hardening of cold rolling rolls by plasma surfacing. *Zagotovitel'nye proizvodstva v mashinostroenii*. 2023; 21(7):296–302. (In Russ.). <https://doi.org/10.36652/1684-1107-2023-21-7-296-302>
10. Геллер Ю.А. *Инструментальные стали*. Москва: Металлургия; 1983:527.

Сведения об авторах

Information about the Authors

Людмила Петровна Бащенко, к.т.н., доцент кафедры теплоэнергетики и экологии, Сибирский государственный индустриальный университет

ORCID: 0000-0003-1878-909X

E-mail: luda.baschenko@gmail.com

Василий Витальевич Почетуа, к.т.н., старший преподаватель кафедры транспорта и логистики, Сибирский государственный индустриальный университет

ORCID: 0000-0003-0492-6188

E-mail: v.pochetuha@mail.ru

Татьяна Алексеевна Михайличенко, к.т.н., доцент кафедры теплоэнергетики и экологии, Сибирский государственный индустриальный университет

E-mail: archimih@mail.ru

Lyudmila P. Bashchenko, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Prof. of the Chair "Thermal Power and Ecology", Siberian State Industrial University

ORCID: 0000-0003-1878-909X

E-mail: luda.baschenko@gmail.com

Vasilii V. Pochetuha, Cand. Sci. (Eng.), Senior Lecturer of the Chair of Transport and Logistics, Siberian State Industrial University

ORCID: 0000-0003-0492-6188

E-mail: v.pochetuha@mail.ru

Tat'yana A. Mikhailichenko, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Prof. of the Chair "Thermal Power and Ecology", Siberian State Industrial University

E-mail: archimih@mail.ru

Вклад авторов

Contribution of the Authors

Л. П. Бащенко – формулирование общей концепции работы, написание текста.

В. В. Почетуа – обработка результатов оптической и сканирующей электронной микроскопии.

Т. А. Михайличенко – измерение микротвердости, анализ строения наплавленного слоя по глубине.

L. P. Baschenko – formation of the main concept, writing the text.

V. V. Pochetuha – processing of the results of optical and scanning electron microscopy.

T. A. Mikhailichenko – measurement of microhardness, analysis of structure of the surfacing layer in depth.

Поступила в редакцию 20.07.2023

После доработки 28.08.2023

Принята к публикации 01.09.2023

Received 20.07.2023

Revised 28.08.2023

Accepted 01.09.2023