

Влияние титана на структуру и свойства наплавленного металла порошковыми проволоками систем **Fe - C - Si - Mn - Cr - W - V и** **Fe - C - Si - Mn - Cr - Mo - Ni**

Н. В. КИБКО, канд. техн. наук, **А. А. УСОЛЬЦЕВ**, канд. техн. наук, **А. Р. МИХНО**, **А. А. СЫЧЕВ**

Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия (krivicheva_nv@mail.ru)

Рассмотрена возможность улучшения структуры, а также повышения твердости и износостойкости наплавленных слоев за счет введения титана в состав порошковых проволок систем Fe – C – Si – Mn – Cr – W – V и Fe – C – Si – Mn – Cr – Mo – Ni. Исследованы химический состав, структура, твердость и износостойкость наплавленных на сталь 09Г2С слоев. Определена степень загрязненности слоев неметаллическими включениями. Показано положительное влияние добавок порошка титана в состав порошковых проволок на исследованные характеристики наплавленных слоев.

Ключевые слова: порошковая проволока; наплавка; порошок титана; микроструктура; твердость; износостойкость.

ВВЕДЕНИЕ

Появление новых материалов, усовершенствование имеющихся технологий восстановления, а также поддержка работоспособности валков и механизмов машин горного оборудования, испытывающих абразивное и ударное изнашивание при эксплуатации, является одной из значимых задач в производстве. В настоящее время существует большое количество методов восстановления формы, размеров и улучшения механических свойств прокатного оборудования и деталей, работающих в условиях интенсивного изнашивания. Эффективным способом их восстановления является наплавка порошковой проволокой. Получение активного слоя методом наплавки не только обеспечивает повышение эксплуатационных характеристик за счет использования соответствующих наплавочных материалов, но и позволяет проводить это многократно. Используя наплавку, можно значительно уменьшить расход дорогостоящих высоколегированных сталей и сплавов. Кроме того, многократное восстановление изношенных деталей с помощью наплавки в значительной степени уменьшает расход металла на изготовление запасных частей. Увеличение срока службы деталей и узлов механизмов и машин особенно важно, если от их надежности зависит работа высокопроизводительного оборудования, а замена таких деталей связана с длительными простоями. Этим обусловлена большая экономическая и техническая эффективность наплавки.

Известно, что значительное влияние на формирование структуры и свойств слоя, наплавленного порошковой проволокой, оказывает ее химический состав. Введение порошков различных карбидообра-

зующих элементов, в том числе и титана, в состав проволок, флюсов и других материалов, способствует уменьшению вероятности развития трещин разгара и выкрошивания поверхности наплавок за счет улучшения структурного состояния границ зерен и снижения размеров зерен [1 – 6].

Цель настоящей работы — исследование влияния добавок титана на структуру, твердость и износостойкость наплавленного металла порошковыми проволоками систем Fe – C – Si – Mn – Cr – W – V и Fe – C – Si – Mn – Cr – Mo – Ni.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для изготовления порошковых проволок использовали следующие порошкообразные материалы: углерод- и фторсодержащий материал (пыль газоочистки алюминиевого производства), порошки железа ПЖВ-1 (ГОСТ 9849–86), хрома ПХ-1С (ТУ 14-1-1474–75), марганца МР-0 (ГОСТ 6008–82), кремния КР-1 (ГОСТ 2169–69), молибдена МПЧ (ТУ 48-19-69–80), никеля ПНК-1Л5 (ГОСТ 9722–97), титана ПТС (ТУ 14-22-57–92).

Изготовление порошковых проволок проводили на лабораторной установке пропусканием стальной ленты через фильтры. Диаметр проволок 5 мм, оболочка выполнена из ленты Ст3.

Образцы из стали 09Г2С подвергали наплавке по режиму, рекомендованному в ГОСТ 26101–84: сила тока 620 А, напряжение 32 В, скорость наплавки 20 см/мин. Наплавку порошковых проволок осуществляли с использованием сварочного флюса, изготовленного из шлака от производства силикомарганца, разработанного в условиях СиБГИУ [7]. Флюс

Таблица 1. Химический состав наплавленных слоев порошковыми проволоками систем Fe – C – Si – Mn – Cr – Mo – Ni – Ti и Fe – C – Si – Mn – Cr – W – V – Ti

Образец наплавки	Содержание элементов в наплавленном слое, % (масс.)													
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Ti	W	V	Mo	Al	Nb	S	P
Проволока системы Fe – C – Si – Mn – Cr – Mo – Ni – Ti														
1	0,24	1,36	1,44	4,75	0,34	0,05	0,008	—	0,004	0,620	0,012	0,003	0,050	0,019
2	0,24	1,72	1,19	5,97	0,37	0,06	0,013	—	0,005	0,850	0,013	0,003	0,055	0,026
3	0,27	2,51	1,61	4,64	0,27	0,06	0,019	—	0,004	0,670	0,043	0,004	0,034	0,019
4	0,27	2,66	1,68	4,63	0,27	0,06	0,035	—	0,004	0,640	0,045	0,004	0,044	0,010
Проволока системы Fe – C – Si – Mn – Cr – W – V – Ti														
5	0,52	1,23	1,94	2,49	0,05	0,04	0,024	7,71	0,300	0,037	0,034	0,002	0,047	0,013
6	0,52	1,29	1,96	2,61	0,06	0,04	0,037	8,27	0,320	0,036	0,042	0,003	0,042	0,012
7	0,62	1,27	1,97	2,88	0,05	0,04	0,053	8,81	0,340	0,036	0,036	0,005	0,040	0,014
8	0,67	1,20	1,98	2,69	0,06	0,04	0,062	8,80	0,340	0,037	0,046	0,003	0,012	0,012
9	0,73	1,45	2,05	2,69	0,06	0,04	0,130	8,83	0,400	0,038	0,040	0,002	0,040	0,015

состоял из следующих химических соединений и элементов, % (масс.): 0,024 C; 16,15 MnO; 29,13 CaO; 42,40 SiO₂; 0,52 FeO; 6,80 Al₂O₃; 0,59 K₂O; 1,39 MgO; 0,18 Na₂O; 0,004 ZnO; 0,17 TiO₂; 0,033 Cr₂O₃; 0,32 F; 0,23 S; 0,022 P.

Исследование химического состава наплавленных слоев проводили с использованием рентгенофлюоресцентного метода на спектрометре XRF-1800 и атомно-эмиссионным методом на спектрометре ДФС-71.

Металлографический анализ наплавленных слоев порошковыми проволоками осуществляли на микроскопах METAM PB-34 и OLYMPUS GX-51 в светлом поле при увеличениях ×100 и ×1000 с использованием пакета прикладных программ NEXSYS ImageExpert Sample 2 и Siams Photolab 700 соответственно. Для исследований изготавливали шлифы, которые подвергали полированию, а затем травлению в 4%-ном растворе HNO₃ в этиловом спирте. Размер первичного зерна аустенита и характеристики мартенсита определяли по ГОСТ 5639–82 (при × 100) и по ГОСТ 8233–56 (при × 1000) методом сравнения с эталонными шкалами. Размер бывшего зерна аустенита оценивали путем визуального сравнения исследуемой структуры и эталона по шкале, включенной в прикладную программу микроскопа METAM PB-34. Исследуемой структуре присваивался соответствующий балл. Размер игл мартенсита определяли с использованием блока линейного измерителя.

Для оценки загрязненности неметаллическими включениями слоев, наплавленных порошковыми проволоками, исследовали полированную поверхность продольных шлифов при увеличении ×100 методом сравнения с эталонными шкалами ГОСТ 1778–70, включенными в программу микроскопа METAM PB-34.

Измеряли твердость наплавленных слоев методами Бринелля и Роквелла в соответствии с требова-

ниями ГОСТ 9012–59 и ГОСТ 9013–59. Определяли износстойкость наплавленных слоев по результатам испытаний на изнашивание с использованием установки 2070 СМТ-1 по схеме диск – колодка по режиму: нагрузка 78,4 Н, частота 20 об/мин.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Химический состав слоев, наплавленных порошковыми проволоками, приведен в табл. 1.

В результате исследования степени загрязненности полученных наплавок неметаллическими включениями установлено наличие в них в основном недеформирующихся силикатов и точечных оксидов.

Показано, что повышение содержания титана в наплавленных слоях оказывает незначительное влияние на уровень их загрязненности неметаллическими включениями. При этом наименьшая загрязненность наблюдается при более низком содержании титана в слоях. Для слоев, наплавленных порошковой проволокой системы Fe – C – Si – Mn – Cr – Mo – Ni – Ti, наименьшая загрязненность точечными оксидами и недеформирующими силикатами установлена при содержании 0,008 и 0,013 % Ti. При повышении концентрации титана до 0,019 и 0,035 % в наплавленных слоях наряду с точечными оксидами и недеформирующими силикатами обнаружены точечные нитриды.

Для слоев, наплавленных порошковой проволокой системы Fe – C – Si – Mn – Cr – W – V – Ti, наименьшая загрязненность неметаллическими включениями установлена при содержании 0,024 % Ti. Показано, что степень загрязненности изучаемых наплавленных слоев незначительная и не оказывает негативного влияния на их свойства, а также является допустимой для использования исследуемых порошковых проволок.

Металлографический анализ наплавленных порошковыми проволоками слоев показал, что их мик-

Таблица 2. Твердость (HB , HRC) и степень износа (Δm) наплавленных слоев исследованными порошковыми проволоками

Образец	HB	HRC	$\Delta m, 10^{-4}, \text{г/об}^*$
Проволока системы $\text{Fe} - \text{C} - \text{Si} - \text{Mn} - \text{Cr} - \text{Mo} - \text{Ni} - \text{Ti}$			
1	355 – 396	33 – 40	0,77
2	410 – 466	42 – 47	0,66
3	434 – 581	45 – 49	0,60
4	444 – 575	44 – 50	0,52
Проволока системы $\text{Fe} - \text{C} - \text{Si} - \text{Mn} - \text{Cr} - \text{W} - \text{V} - \text{Ti}$			
5	614 – 689	52 – 55	1,94
6	642 – 730	53 – 55	1,85
7	651 – 746	56 – 59	1,29
8	713 – 830	56 – 58	1,20
9	705 – 838	56 – 60	1,12

* Потеря массы образца за один оборот вращения диска при испытании на изнашивание.

роструктура имеет в основном дендритное строение и состоит из мелкоигольчатого и среднеигольчатого мартенсита (балл 3 – 6) с размером игл 3 – 9 мкм, сформировавшегося внутри границ бывшего зерна аустенита, небольшого количества остаточного аустенита в виде отдельных участков и тонких прослойек δ -феррита (рис. 1 и 2, см. обл.). При увеличении содержания титана наблюдается измельчение мартенсита от среднеигольчатого до мелкоигольчатого.

При увеличении содержания титана от 0,08 до 0,013 и 0,019 % в порошковой $\text{Fe} - \text{C} - \text{Si} - \text{Mn} - \text{Cr} - \text{Mo} - \text{Ni} - \text{Ti}$ -проводке в структуре наплавленного слоя наблюдается уменьшение размера игл мартенсита от 4 – 8 до 2 – 4 мкм. При этом размеры зерен первичного аустенита не изменяются и соответствуют № 5 по шкале зернистости (рис. 1, а – в).

При увеличении содержания титана от 0,024 до 0,13 % в порошковой $\text{Fe} - \text{C} - \text{Si} - \text{Mn} - \text{Cr} - \text{W} - \text{V} - \text{Ti}$ -проводке в структуре наплавленного слоя обнаружено уменьшение размеров игл мартенсита от 3 – 9 до 2 – 5 мкм и величины первичного зерна аустенита от № 4 (без добавки Ti) до № 6 (с добавкой порошка Ti) по шкале зернистости (рис. 2, см. обл.).

Установлено, что микроструктурные изменения сопровождаются изменением свойств наплавленных слоев порошковыми проволоками систем $\text{Fe} - \text{C} - \text{Cr} - \text{Mo} - \text{Ni}$.

Effect of titanium on the structure and properties of clad metal from powder wires of the $\text{Fe} - \text{C} - \text{Si} - \text{Mn} - \text{Cr} - \text{W} - \text{V}$ and $\text{Fe} - \text{C} - \text{Si} - \text{Mn} - \text{Cr} - \text{Mo} - \text{Ni}$ systems

N. V. Kibko, A. A. Usoltsev, A. R. Mikhno, and A. A. Sychev

Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia

The possibility of improving the structure and raising the hardness and wear resistance of clad layers by introducing titanium into powder wires of the $\text{Fe} - \text{C} - \text{Si} - \text{Mn} - \text{Cr} - \text{W} - \text{V}$ and $\text{Fe} - \text{C} - \text{Si} - \text{Mn} - \text{Cr} - \text{Mo} - \text{Ni}$ systems is studied. The chemical composition, the structure, the hardness, and the wear resistance of the layers clad onto steel 09G2S are analyzed. The degree of contamination of the layers with nonmetallic inclusions is determined. The addition of titanium powder into the powder wires is shown to affect positively the studied characteristics of the clad layers.

Keywords: powder wire, cladding, titanium powder, microstructure, hardness, wear resistance.

$\text{Si} - \text{Mn} - \text{Cr} - \text{W} - \text{V} - \text{Ti}$ и $\text{Fe} - \text{C} - \text{Si} - \text{Mn} - \text{Cr} - \text{Mo} - \text{Ni} - \text{Ti}$. Повышение содержания титана в порошковых проволоках способствует увеличению твердости и износостойкости наплавленного слоя (табл. 2). Наибольший эффект улучшения свойств наплавки наблюдается при наибольшем содержании титана в составе порошковых проволок.

ВЫВОДЫ

1. Добавка порошка титана в состав порошковых проволок систем $\text{Fe} - \text{C} - \text{Si} - \text{Mn} - \text{Cr} - \text{W} - \text{V}$ и $\text{Fe} - \text{C} - \text{Si} - \text{Mn} - \text{Cr} - \text{Mo} - \text{Ni}$ оказывает положительное влияние на микроструктуру наплавленных ими слоев. При повышении содержания титана размер игл мартенсита и величина первичного зерна аустенита уменьшаются.

2. Улучшение микроструктуры наплавленных слоев при повышении содержания порошка титана в порошковых проволоках сопровождается увеличением твердости и снижением скорости изнашивания слоев.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артемьев А. А., Соколов Г. Н., Лысак В. И. Влияние микрочастиц диборида титана и наночастиц карбонитрида титана на структуру и свойства наплавленного металла // МИТОМ. 2011. № 12. С. 32 – 37.
2. Титаренко В. И., Голякевич А. А., Орлов Л. Н. и др. Восстановительная наплавка валков прокатных станов порошковой проволокой // Сварочное производство. 2013. № 7. С. 29 – 32.
3. Патон Б. Е. Машиностроение. Энциклопедия. Технология сварки, пайки и резки: в трех томах. М.: Машиностроение, 2006. Т. III. 768 с.
4. Тарасов А. В. Металлургия титана. М.: ИКЦ "Академкнига". 2003. 328 с.
5. Парфенов О. Г., Паршаков Г. Л. Проблемы современной металлургии титана. Новосибирск: Изд-во СиБО РАН, 2008. 279 с.
6. Соколов Г. Н. Наплавка износостойких сплавов на прессовые штампы и инструмент для горячего деформирования сталей: монография. Волгоград: РПК "Политехник", 2005. 284 с.
7. Козырев Н. А., Крюков Р. Е., Михно А. Р. и др. Изучение влияния введения в состав порошковой проволоки марки 35В9Х3СФ углеродфторсодержащей добавки // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2019. № 4(30). С. 16 – 20.

Статья поступила в редакцию 11.01.2022 г.

К статье Н.В. Кибко, А.А. Усольцева, А.Р. Михно, А.А. Сычева

«Влияние титана на структуру и свойства наплавленного металла порошковыми проволоками систем Fe – C – Si – Mn – Cr – W – V и Fe – C – Si – Mn – Cr – Mo – Ni»

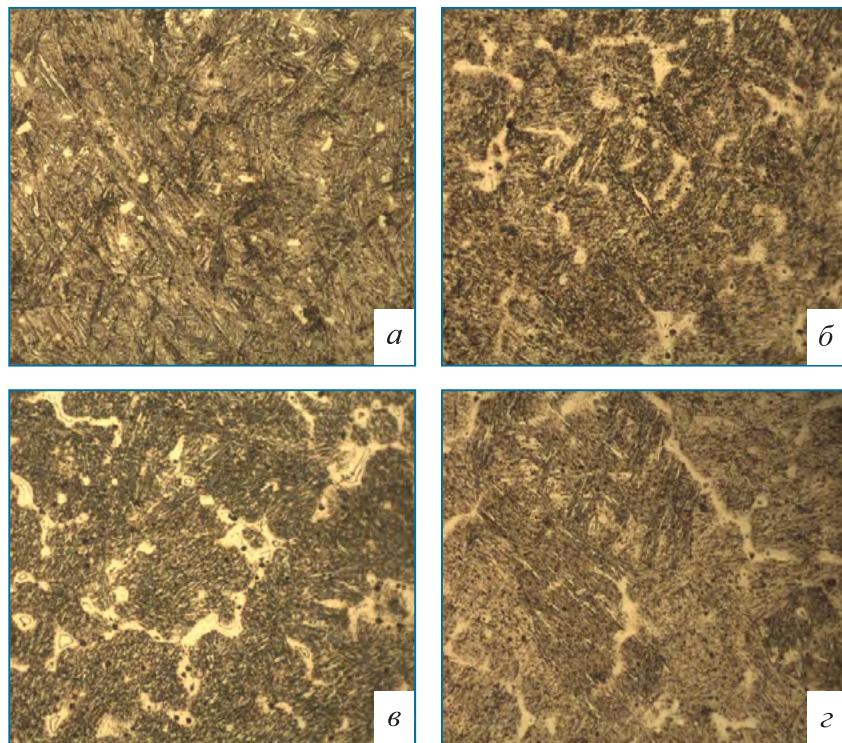


Рис. 1. Микроструктура образцов 1 (а), 2 (б), 3 (в), 4 (г) наплавки порошковой проволокой системы Fe – C – Si – Mn – Cr – Mo – Ni – Ti ($\times 500$)

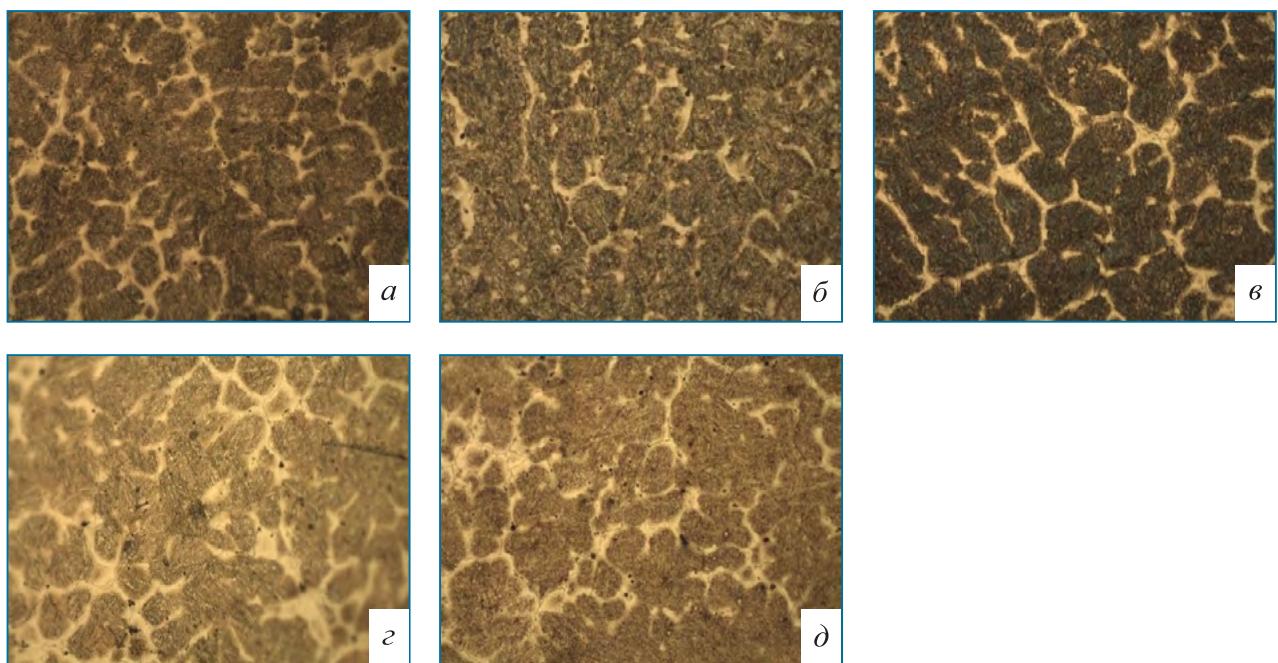


Рис. 2. Микроструктура образцов 5 (а), 6 (б), 7 (в), 8 (г), 9 (д) наплавки порошковой проволокой системы Fe – C – Si – Mn – Cr – W – V – Ti ($\times 500$)