

УДК 621.791.927.5
DOI: 10.30987/2223-4608-2021-6-3-11

С.А. Фастов, аспирант, **И.В. Зорин**, к.т.н.,
В.И. Лысак, д.т.н., **В.О. Харламов**, к.т.н.
(ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»,
400005, г. Волгоград, пр. Ленина, д. 28)
E-mail: nanomaterial-vstu@yandex.ru; serheyfastov@yandex.ru

Оценка эффективности применения предварительного подогрева при наплавке термически стойких сплавов на инструментальную сталь*

Рассмотрено влияние предварительного подогрева на структуру износостойких сплавов, наплавленных на инструментальную штамповую сталь 5ХНМ методом колеблющегося электрода. Представлены результаты исследований переходных зон, формирующихся между высоколегированным наплавленным металлом и высокоуглеродистой сталью. Установлены особенности формирования структуры зоны термического влияния под воздействием подогрева.

Ключевые слова: наплавка; предварительный подогрев; износостойкие сплавы; структуры; переходная зона; твердость.

S.A. Fastov, Post graduate student, **I.V. Zorin**, Can. Sc. Tech.,
V.I. Lysak, Dr. Sc. Tech., **V.O. Kharlamov**, Can. Sc. Tech.
(FSBEI HE «Volgograd State Technical University», 28, Lenin Avenue, Volgograd, 400005)

Effectiveness assessment of pre-heating application at thermo-resistant alloy surfacing upon tool steel

There is considered a pre-heating effect upon the structure of wear-resistant alloys deposited upon 5HNM pressed tool steel by the method of an oscillating method. The results of investigations of transfer areas formed between deposited high-alloy metal and high-carbon steel are presented. The peculiarities in area structure formation of thermal effect under the impact of heating are defined.

Keywords: surfacing; pre-heating; wear-resistant alloys; structures; transfer area; hardness.

Введение

Известно, что инструмент горячего деформирования металла (пресса; штампы; прошив-

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-48-340010, а также государственного задания № 0637-2020-0006, в рамках которого были выполнены дюрометрические исследования металла.

ные оправки; матрицы и т.д.), эксплуатирующийся при циклическом температурном и силовом воздействиях (ЦТСВ) выходит из строя преимущественно по причине образования и развития трещин от термической усталости, интенсифицирующих изнашивание рабочих поверхностей [1]. Как правило, такие дефекты не распространяются на большую глубину [2]. Поэтому в ряде случаев после удаления слоя изношенного металла достаточно произвести ремонтную наплавку более износо- и терми-

чески стойкими сплавами (ИТС). Технологически более целесообразно применение изготовительной наплавки инструмента, что многократно повышает изначальную стойкость его к ЦТСВ [1, 3]. В этом случае инструмент изготавливают из углеродистых конструкционных сталей (40; 45; 40X и т.п.) и из инструментальных низколегированных сталей, среди которых наибольшее распространение получила сталь 5ХНМ [4]. Повышенное содержание углерода в таких сталях обуславливает образование при наплавке закалочных структур в зоне термического влияния (ЗТВ), что является одной из причин появления трещин.

Также вследствие существенных различий в системах легирования основного металла и высоколегированного наплавленного металла вблизи линии сплавления могут образовываться прослойки в виде, науглероженной и обезуглероженной зон, которые могут ускорить разрушение наплавленного изделия [5 – 7]. Усугубляет ситуацию склонность некоторых износостойких сплавов к образованию горячих и холодных трещин в процессе наплавки и после охлаждения [1, 8, 9]. Одним из наиболее эффективных технологических способов по предотвращению образования закалочных структур и холодных трещин в металле ЗТВ является предварительный подогрев наплаваемого изделия. Его положительное влияние проявляется в уменьшении скорости охлаждения как в ЗТВ, так и в наплаваемом металле, что позволяет уменьшить в нем уровень сварочных напряжений [10 – 14]. Положительный эффект от снижения остаточных напряжений также способствует увеличению ресурса работы инструмента при ЦТСВ, что наблюдается и в случае пред-

варительной наплавки слоя из более пластичного материала, чем рабочий износостойкий слой [15].

Вместе с тем исследования, посвященные вопросу применения предварительного подогрева, показывают, что его влияние нужно рассматривать индивидуально по отношению к конкретной системе легирования и условиями работы изделия [14, 16]. По этой причине в литературе еще недостаточно изучено влияние предварительного подогрева на структуру и свойства износостойких сплавов, предназначенных для изделий, работающих в условиях ЦТСВ, таких как, например, матрицы прессования, валки трубопрокатных станков, ролики машин непрерывного литья заготовок, штампы горячей штамповки и другой инструмент.

Целью данной работы является изучение влияния предварительного подогрева на особенности формирования структуры, наплавленных с использованием колеблющегося электрода, сплавов, а также структуры переходной зоны между основным и наплавленным металлом.

Материалы и методы исследования

Для оценки влияния предварительного подогрева на структуру и свойства наплавленных сплавов производили экспериментальную наплавку трех типов термо- и износостойких сплавов с использованием порошковых проволок диаметром 2,8 мм. Экспериментальные порошковые проволоки изготавливали 6-ти кратным механизированным волочением в лабораторных условиях. Химический состав наплавленных сплавов приведен в табл. 1.

1. Химический состав наплавленного и основного металла

№ п/п	Условное обозначение сплавов	Легировующие элементы, % масс.								
		C	Cr	W	Ni	Mo	Ti	V	Mn	Si
1	12X15H4M3AT	0,06	14,0	-	3,92	3,11	0,51	-	0,30	0,09
2	25X5ФМС	0,27	5,70	0,45	0,16	1,86	-	0,50	1,03	0,75
3	40X2B9ФГС	0,43	2,30	9,20	0,18	0,11	-	0,28	0,97	0,64
4	5ХНМ (Основной металл)	0,55	0,71	-	1,66	0,20	Cu= 0,12	-	0,46	0,22

Выбранные типы термически стойких наплавочных сплавов применяются для упрочнения инструмента горячего деформирования металлов, работающих, соответственно, в диапазонах температур: 750...850 °С (12X15H4M3AT); 500...600 °С (25X5ФМС) и 600...700 °С (40X2B9ФГС).

Электродуговую наплавку производили на

пластины из стали 5ХНМ с габаритными размерами 70x60x15 мм. Выбор стали 5ХНМ в качестве основного металла (подложки) обусловлен ее широким применением в качестве материала инструмента для горячего деформирования металла [4, 17]. Для имитации процесса наплавки на реальное массивное изделие предварительно приваривали пластину из

стали 5ХНМ к пластине из стали 09Г2С толщиной 30 мм.

Определение химического состава наплавленного металла осуществляли с помощью оптико-эмиссионного спектрометра Oxford Instruments PMI-MASTER Pro. Измерение твердости наплавленного металла производили по методу Роквелла на твердомере ТН-500. Распределение твердости по высоте наплавленного металла осуществляли методом Виккерса с помощью твердомера DUROLINE-M (Metkon Metallography) при нагрузке на индентор 1000 г.

Исследование микроструктуры производили на электронном растровом микроскопе VERSA-3D, а для оценки распределения химических элементов использовали энергодисперсионный анализатор. Для выявления структуры наплавленного металла применяли раствор хлористого железа $FeCl_3 + HCl + H_2O$, а для основного металла использовали 4 % раствор HNO_3 в C_2H_5OH . Защиту металла от воздействия кислоты осуществляли нанесением на поверхность, не предназначенную для травления, лака на основе ацетилтрибутилцитрата целлюлозы.

Эксперимент

Наплавку осуществляли в среде инертного газа Ar (технически чистый 99,9 %) на сварочном автомате A2 MiniMaster (ESAB) с использованием поперечных к направлению наплавки перемещений дуги по поверхности сварочной ванны. Этот технологический прием давал возможность в результате периодического перераспределения тепловой мощности дуги в сварочной ванне [1] получать ши-

рокслойные валики при небольшой доле участия (~ 25 %) основного металла в наплавленном.

Параметры режима наплавки: ток наплавки – 280...320 А; напряжение на дуге – 25...27 В; скорость наплавки – 10...12 м/ч; размах колебаний электрода равен ± 7,5 мм; частота колебаний электрода – 1,5 Гц; вылет электрода относительно токоподводящего наконечника – 20...25 мм; расход газовой смеси – 17...20 л/мин; полярность на электроде «+»; количество слоев наплавленного металла – 2. Для исследований были изготовлены 6 образцов, из которых 3 получены наплавкой без предварительного подогрева и 3 наплавлены с предварительным подогревом.

Температура предварительного подогрева пластин составляла 300 °С, а длительность их выдержки при данной температуре – 4 ч. В процессе наплавки температура между наплавленными валиками не превышала 300...350 °С, что является общепринятым значением для наплавки износостойких сплавов на углеродистые стали [9, 18]. Перед наплавкой очередного слоя металла, образцы, выполнявшиеся без предварительного подогрева, остывали до температуры окружающей среды на спокойном воздухе. Величина взаимного перекрытия соседних валиков составляла ~ 50 %.

Результаты и обсуждение

Экспериментально установлено, что предварительный подогрев не привел к заметным изменениям твердости (табл. 2) наплавленных сплавов.

2. Твердость наплавленного металла (на поверхности)

Индекс образца	Наплавленный сплав	Твердость наплавленного металла, HRC	
		Наплавка без предварительного подогрева	Наплавка с предварительным подогревом
1	12X15H4M3AT	32...35	30...34
2	25X5ФМС	43...57	44...51
3	40X2B9ФГС	47...49	44...48

В наплавленном металле холодные и горячие трещины не выявлены. Структура наплавленного без предварительного подогрева сплава 12X15H4M3AT в верхнем слое представляет собой мартенситно-ферритную структуру с равномерно распределенными включениями нитрида титана TiN (рис. 1, а). Вблизи условной линии сплавления имеется

четко выраженная прослойка (светлая полоса на структуре), содержание хрома и никеля в которой повышено по сравнению с остальными участками металла (рис. 1, в). Образование подобной прослойки характерно для наплавки высоколегированных сплавов на углеродистые стали [6].

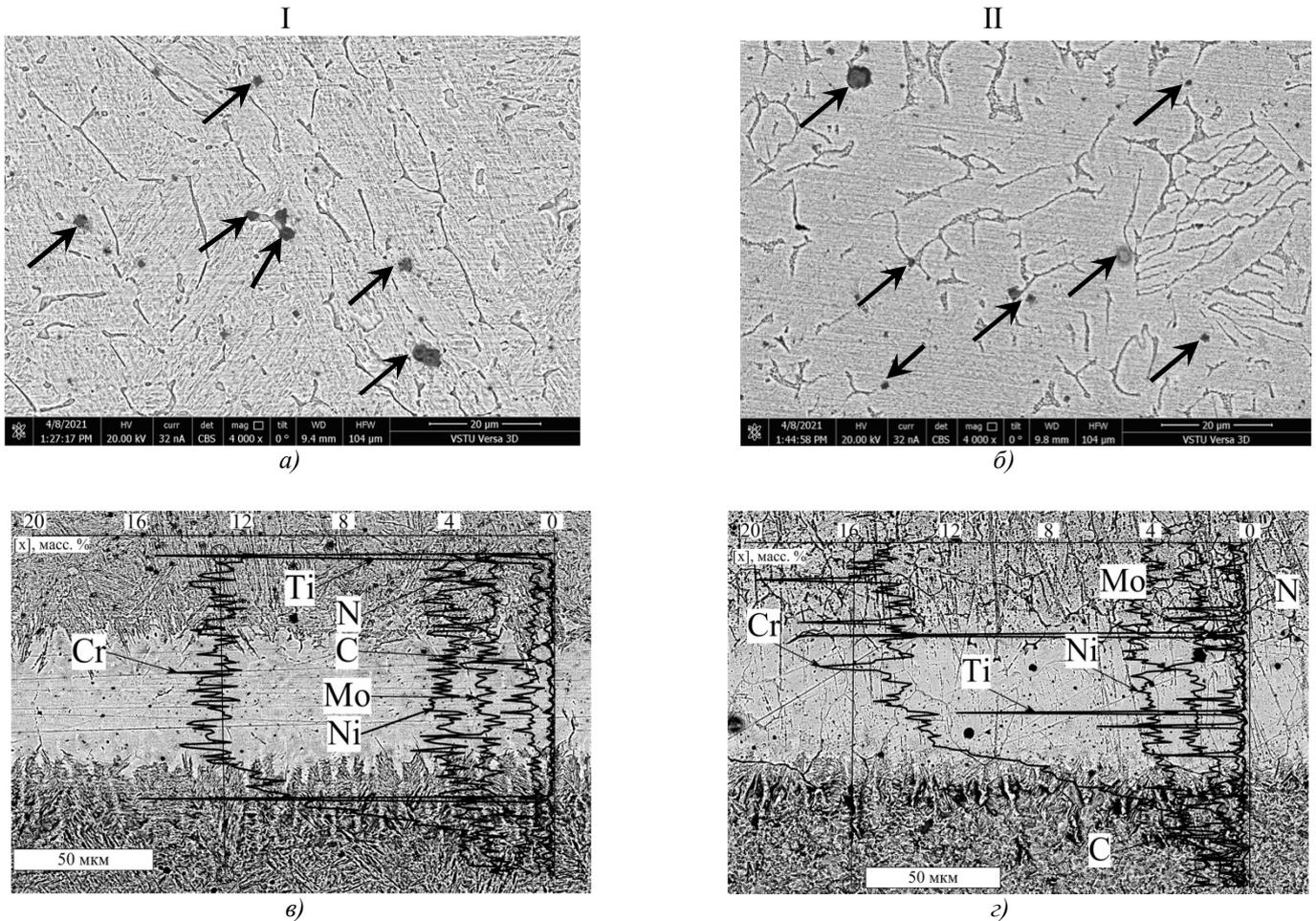


Рис. 1. Микроструктура сплава 12X15H4M3AT, наплавленного без применения предварительного подогрева (I) и с подогревом (II):

a, б – общий вид структуры (стрелками отмечены частицы TiN); *в, г* – участки вблизи условной линии сплавления с распределением легирующих элементов

В образце этого же сплава, но наплавленного с предварительным подогревом, структура не имеет ярко выраженной мартенситной составляющей, и представляет собой ферритные зерна, также содержащие в себе частицы TiN (см. рис. 1, б). По этой причине наблюдается некоторое снижение значений твердости по высоте обоих слоев наплавленного металла (рис. 2, а).

Установлено, что предварительный подогрев не оказал влияния на распределение хрома, молибдена, никеля и титана между основным и наплавленным металлом. Однако в данном случае прослойка является барьером, препятствующим продвижению углерода в наплавленный металл (см. рис. 1, г). Это обстоятельство связано с большим временем нахождения металла в ЗТВ при повышенных температурах, что позволило углероду, как наиболее диффузионно-подвижному элементу в рассматриваемой системе легирования,

диффундировать из нижележащих слоев основного металла.

Структура сплава 25X5МФС, наплавленного без предварительного подогрева, представляет собой мелкодисперсный мартенсит с небольшим содержанием остаточного аустенита (рис. 3, а, б), что согласуется с литературными данными [15].

Анализ структуры первого и второго слоев наплавленного металла не выявил различий в форме структурных составляющих, что подтверждается практически одинаковым распределением твердости в верхней части наплавленного металла (см. рис. 2, б). В примыкающем к условной линии сплавления наплавленном металле отсутствуют различимые диффузионные или кристаллизационные прослойки, что связано с близостью систем легирования основного и наплавленного металла. Если в металле, наплавленном без подогрева, происходит относительно плавное распределение

легирующих элементов между основой и износостойким сплавом (см. рис. 3, в), то подогрев способствовал активации диффузии атомов углерода из более глубоко расположенных слоев. В результате вблизи условной линии сплавления происходит насыщение ос-

новного металла углеродом, которое обуславливает развитие встречной диффузии атомов хрома и выражается в повышенном его содержании вблизи условной границы (см. рис. 3, г).

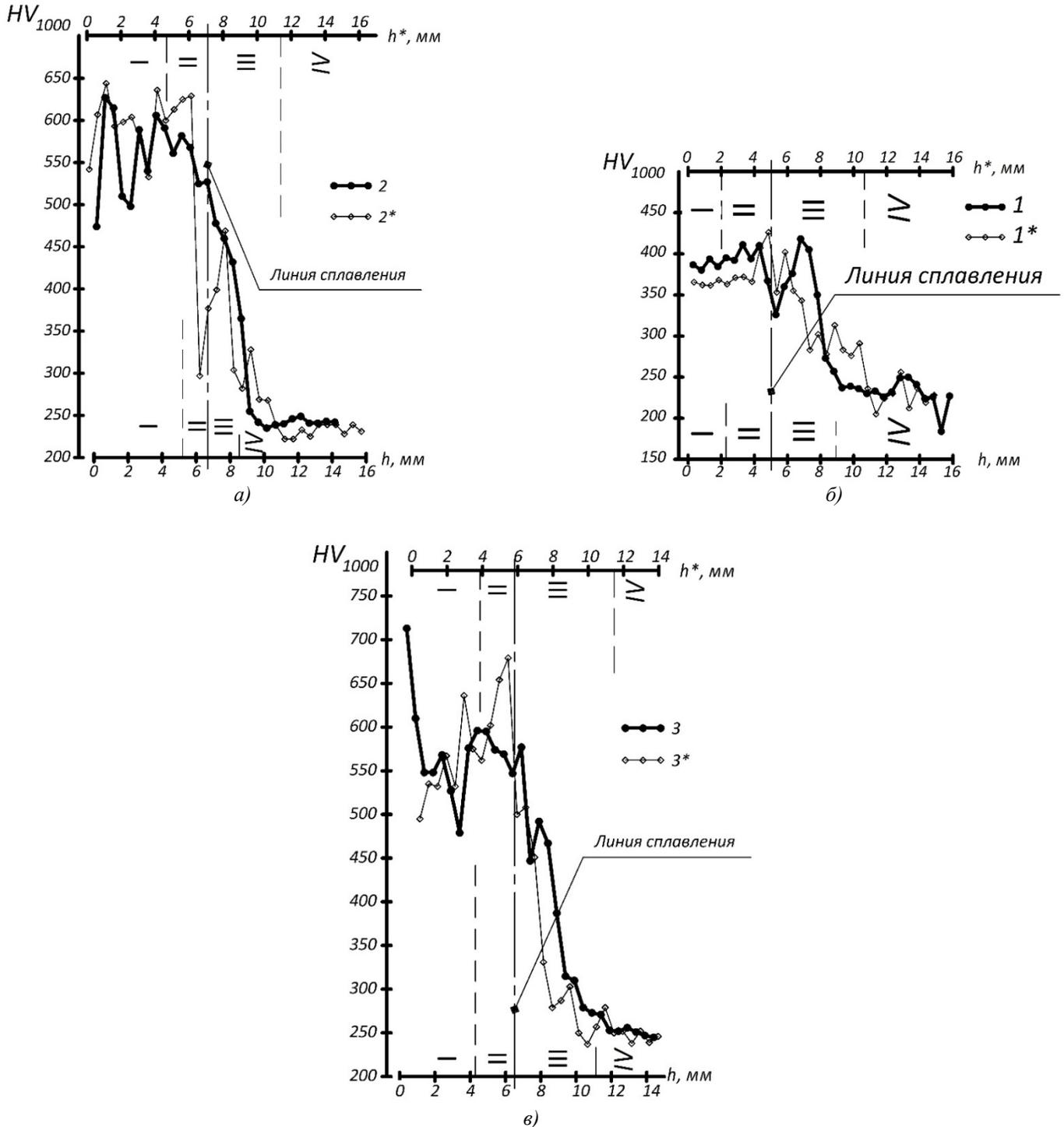


Рис. 2. Распределение твердости по высоте наплавленного металла h :
 а – 1 и 1* (12X15H4M3AT); б – 2 и 2* (25X5ФМС); в – 3 и 3* (40X2B9ФГС); I – верхний (второй) слой наплавленного металла; II – нижний (первый) слой наплавленного металла; III – металл ЗТВ; IV – основной металл; «0» на оси абсцисс соответствует кромке наплавленного металла (верх второго слоя); «*» – обозначены сплавы, наплавленные с подогревом

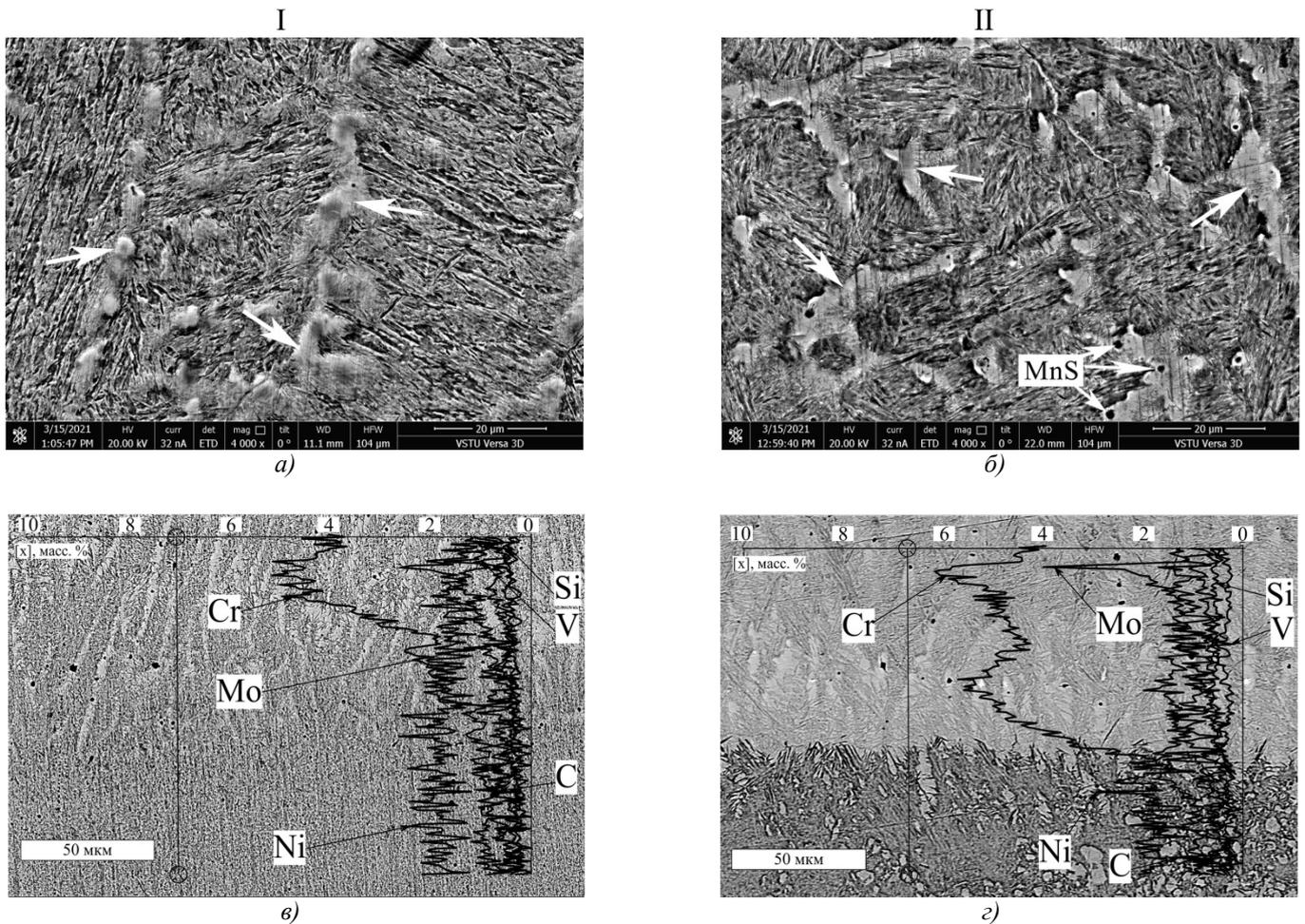


Рис. 3. Микроструктура сплава 25X5ФМС, наплавленного без применения предварительного подогрева (I) и с подогревом (II):

а – общий вид структуры и *б* – укрупнённый в 5 раз (стрелками обозначены островки остаточного аустенита);
в, г – участки структуры вблизи условной линии сплавления

Исследование наплавленного сплава 40X2B9ФГС выявило в нем эвтектоидную структуру с выделениями бейнита (рис. 4, *а, б*), которая не претерпевает изменений под воздействием предварительного подогрева.

Однако в структуре первого слоя наплавленного металла, находившегося большее время при повышенных температурах, образовались участки пересыщенного вольфрамом твердого раствора, что отражается в увеличении твердости данного сплава (см. рис. 2, *в*). Вблизи линии сплавления сформировалась слабо выраженная узкая прослойка (порядка 50...70 мкм), в составе которой преобладает углерод и, диффундировавший из наплавленного металла в стальную подложку, вольфрам (см. рис. 4, *г*). Подогрев металла не оказал влияние на размеры прослойки, однако изменил характер распределения углерода, содержание которого в основном и наплавленном

металле выровнялось (рис. 4, *г*). Вероятно, что предварительный подогрев и не очень большая разница в концентрации углерода в металле подложки (0,55 % масс.) и в наплавочном сплаве (0,43 % масс.) создавали условия для достаточно полного протекания массопереноса углерода в наплавленный металл.

Зона термического влияния у всех наплавленных образцов имеет структуру бейнита, а за границей ЗТВ основной металл представляет собой мелкодисперсную ферритно-перлитную смесь с преобладанием эвтектоидной структуры. Следует отметить, что хотя предварительный подогрев и увеличил в 1,2 – 2,3 раза протяженность зоны термического влияния, распределение твердости в ней (участок III на рис. 2) характеризуется отсутствием пиковых значений, типичных для закалочных структур.

Особенностью формирования ЗТВ всех наплавленных сплавов является выявленная

структурная неоднородность, выраженная в виде чередования вертикально ориентированных "светлых" и "темных" участков, отличающихся

содержанием хрома и никеля (рис. 5).

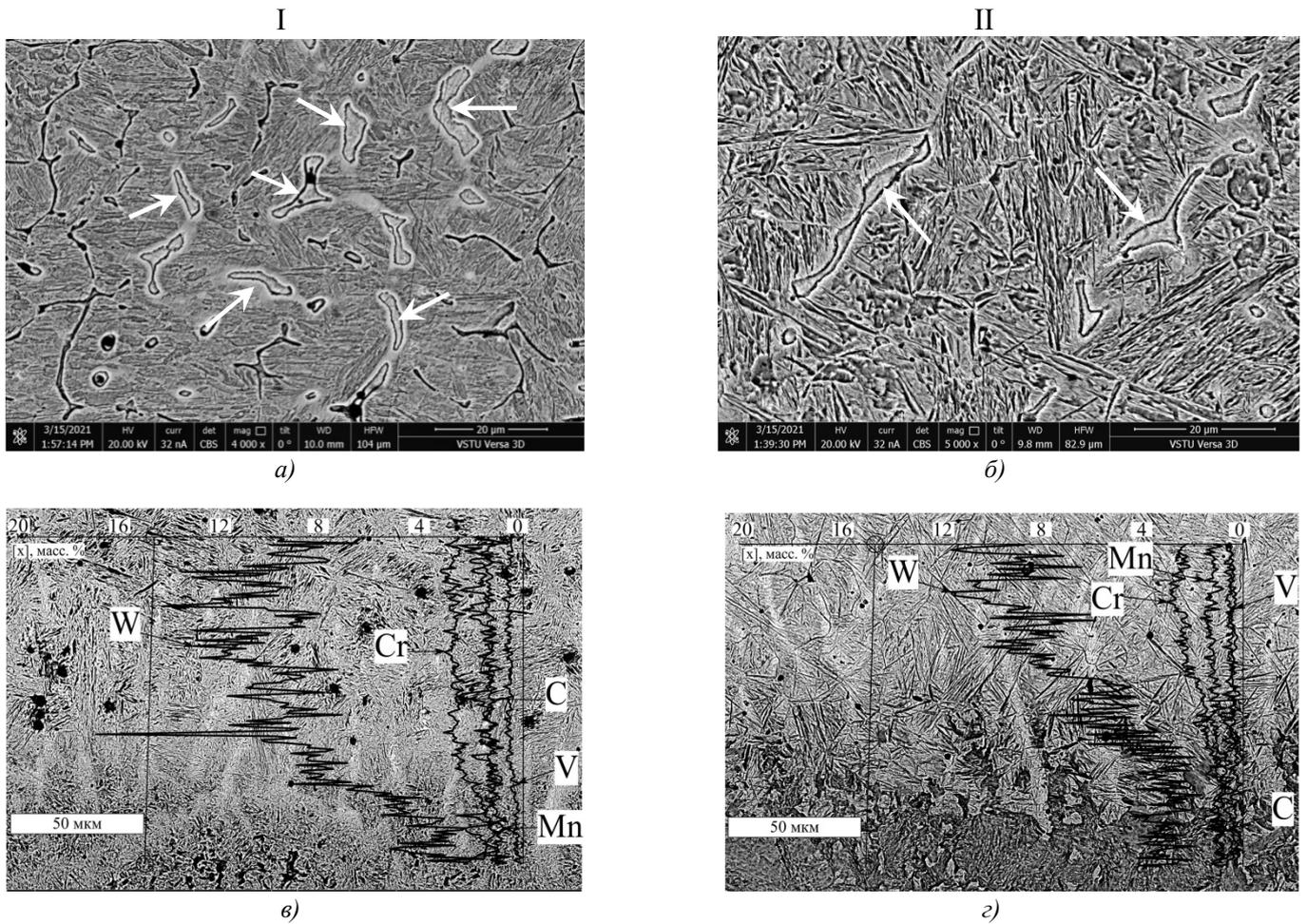


Рис. 4. Микроструктура сплава 40X2B9ФГС, наплавленного без применения предварительного подогрева (I) и с подогревом (II):

а, б – общий вид структуры (стрелками обозначены участки твердого раствора вольфрама в железе);
в, г – участки вблизи условной линии сплавления

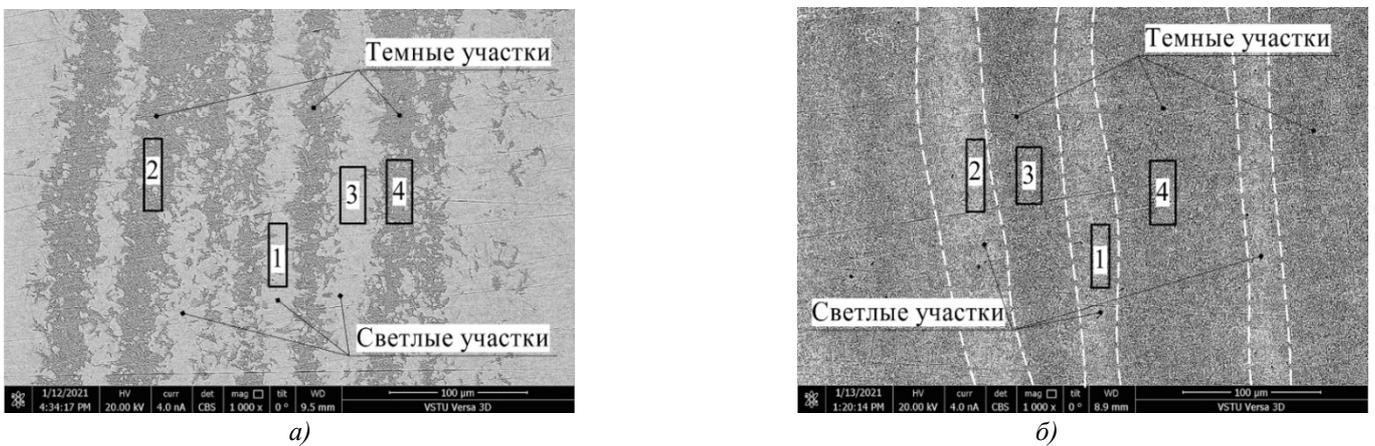


Рис. 5. Структуры ЗТВ основного металла:

а – наплавка с подогревом; б – наплавка без подогрева

Такое строение металла можно рассматривать как результат наследования структурой ее дендритной ликвации, образующейся на стадии изготовления отливки и сохранившейся при последующей высокотемпературной ковке. Наиболее отчетливо участки химической неоднородности идентифицируются у образцов, наплавленных с предварительным

подогревом (см. рис. 5, а), что объясняется усилением ликвации легирующих элементов под воздействием дополнительного тепловложения в металл основы. В результате разница между содержанием хрома в "светлых" и "темных" участках металла ЗТВ увеличивается с 0,1 % масс. до 0,3 % масс. (табл. 3).

3. Распределение легирующих элементов в участках зоны термического влияния

Номер участка (показаны на рис. 5)	Содержание легирующих элементов, % масс.	
	Cr	Ni
наплавка с предварительным подогревом (рис. 5, а)		
1	0,9	1,5
2	0,5	1,1
3	0,8	1,4
4	0,55	1,2
наплавка без подогрева (рис. 5, б)		
1	0,8	1,4
2	0,9	1,5
3	0,7	1,4
4	0,8	1,5

В отсутствие предварительного подогрева содержание никеля в участках обоих видов практически неизменно и варьируется в узком диапазоне значений 1,4...1,5 % масс.. Использование подогрева обуславливает активизацию диффузии никеля в "светлые" участки, что сопровождается уменьшением его содержания в "темных" участках до 1,1...1,2 % масс. (см. табл. 3). Следствием такой неоднородности является повышение твердости металла (до 450...600 HV) в "светлых" участках ЗТВ при относительно небольшой твердости (до 300 HV) металла "темных" участков. Эта особенность в распределении твердости по зоне термического влияния позволяет рассматривать ее как металл с переменными свойствами, сочетающими прочность и пластичность, что может способствовать повышению стойкости участков структуры, находящихся вблизи условной линии сплавления, к циклическим температурно-силовым нагрузкам.

Выводы

1. Установлено, что применение предварительного подогрева при наплавке колеблющимся электродом износостойких сплавов не вызывает существенные изменения структуры и твердости наплавленного металла.

2. На основании анализа результатов исследований можно рекомендовать:

– для наплавки сплава 12X15H4M3AT ис-

пользовать низкоуглеродистый подслоя, что снизит вероятность образования нежелательных прослоек и обеспечит более плавный характер распределения легирующих элементов между стальной подложкой и наплавленным слоем;

– при необходимости наплавки на сталь 5ХНМ сплавов с аналогичной системой легирования наплавленный металл формировать с использованием колеблющегося электрода без предварительного подогрева;

– выполнять наплавку сплава 40X2B9ФГС с обязательным использованием предварительного подогрева или с формированием низкоуглеродистого пластичного подслоя.

3. Выявлено, что предварительный подогрев стали 5ХНМ обусловил формирование структурной неоднородности в зоне термического влияния основного металла, которая проявляется в чередовании участков с различным содержанием хрома и никеля.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Соколов, Г.Н., Лысак, В.И. Наплавка износостойких сплавов на прессовые штампы и инструмент для горячего деформирования сталей: монография. – Волгоград: ВолгГТУ, 2005. – 284 с.

2. Бабинцев, А.А., Рябцев, И.А., Кондратьев, И.А., Рябцев, И.И., Гордань, Г.Н. Исследование термической стойкости наплавленного металла, предназначенного для восстановления прокатных валков // Автоматическая сварка. – 2014. – № 5. – С. 17-21.

3. Kashani, H., Amadeh, A., Vatanara, M.R. Improve-

ment of wear resistance of hot working tool steel by hardfacing. Part 2 – case study // *Material science and technology*. – 2008. – Vol. 24. – № 3. – PP. 356-360.

4. **Тылкин, М.А., Васильев, Д.И., Роголев, А.М.** Штампы для горячего деформирования металлов. – М.: Высшая школа, 1977. – 496 с.

5. **Roshanghias, A., Barzegari, M., Kokabi, A.H., Mirazizi, M.** The effects of functionally graded material structure on wear resistance and toughness of repaired weldments // *Materials and Design*. – 2011. – № 21. – PP. 892-899.

6. **Макаров, Э.Л., Якушин, Б.Ф.** Теория свариваемости сталей и сплавов / под ред. Э.Л. Макарова. – М.: Изд-во МГТУ им Н. Э. Баумана, 2014. – 487 с.

7. **Qingbao Wang, Zhuoxin Li, Yaowu Shi, Lizhi Wang, Fei Liu** Interior crack and its formation mechanism in overlaying weld of back-up rolls // *Engineering Failure Analysis*. – 2013. – № 34. – PP. 268-277.

8. **Beczowski, R., Gucwa, M.** Defects appearing in the surfacing layers of abrasion resistant // *Archives of foundry engineering*. – 2016. – № 4. – PP. 23-28.

9. **Якушин, Б.Ф., Сударев, А.В.** Новый способ износостойкой наплавки деталей из легированных сталей // *Сварка и диагностика*. – 2013. – № 4. – С. 50-55.

10. **Winarto, Priadi, D.** Effect of Preheating and Buttering on Cracking Susceptibility and wear resistance of hardfaced HSLA steel deposit // *Yosetsu Gakkai Ronbunshu*. – 2013. – Vol. 31. – № 4. – PP. 202-205.

11. **Михеев, Д.А., Амосов, А.П.** Оптимизация режима предварительного подогрева при восстановлении замковых соединений буровых труб методом наплавки // *Экспозиция нефть газ*. – 2015. – № 4. – С. 23-26.

12. **Неверов, В.В., Карих, В.В.** Опыт изготовления биметаллического металлообрабатывающего инструмента, используемого при производстве стального проката // *Новые материалы и технологии в машиностроении*. – 2007. – № 7. – С. 128-130.

13. **Wei Ya, Belavendram Pathiraj** Residual stresses in Stellite 6 layers cladded on AISI 420 steel plates with a Nd:YAG laser // *Journal of laser applications*. – 2018. – Vol. 30. – № 30. – Article number 032007.

14. **Shi, R.R., Chen, S.Y., Peng, Y.G., Zhang, Z.** Effect of preheating temperature on microstructure of Fe based alloy coating by laser direct metal deposition // *Key engineering materials*. – 2016. – № 703. – PP. 94-99.

15. **Рябцев, И.А., Бабинцев, А.А., Гордань, Г.Н., Рябцев, И.И., Кайда, Т.В., Еремеева, Л.Т.** Структура многослойных образцов имитирующих наплавленные инструменты для горячего деформирования металлов // *Автоматическая сварка*. – 2013. – № 9. – С. 43-47.

16. **Gucwal, M., Winczek, J., Mician, M.** The effect of the preheating on to properties of the wear resistant welds // *Welding technology review*. – 2020. – Vol. 92. – № 2. – PP. 7-14.

17. **Фомичев, А.Ф., Кривицкий, Б.А., Салиенко, А.Е., Юргенсон, Э.Е.** Предварительная оценка условий работы штампов для горячей штамповки // *Металлообработка*. – 2007. – № 37. – С. 45-47.

18. **Соколов, Г.Н., Зорин, И.В., Цурихин, С.Н.** Восстановление криволинейного профиля валков трубопрокатного стана дуговой наплавкой // *Ремонт, восстановление, модернизация*. – 2008. – № 6. – С. 7-11.

monograph. – Volgograd: VolgaSTU, 2005. – pp. 284.

2. **Babinets, A.A., Ryabtsev, I.A., Kondratiev, I.A., Ryabtsev, I.I., Gordan, G.N.** Thermal resistance investigation of deposited metal intended for forming roll restoration // *Automated Welding*. – 2014. – No.5. – PP. 17-21.

3. **Kashani, H., Amadeh, A., Vatanara, M.R.** Improvement of wear resistance of hot working tool steel by hardfacing. Part 2 – case study // *Material science and technology*. – 2008. – Vol. 24. – № 3. – PP. 356-360.

4. **Tylkin, M.A., Vasiliev, D.I., Rogalev, A.M.** *Dies for Metal Hot Deformation*. – М.: Higher School, 1977. – pp. 496.

5. **Roshanghias, A., Barzegari, M., Kokabi, A.H., Mirazizi, M.** The effects of functionally graded material structure on wear resistance and toughness of repaired weldments // *Materials and Design*. – 2011. – № 21. – PP. 892-899.

6. **Makarov, E.L., Yakushin, B.F.** *Theory of Steel and Alloy Weldability / under the editorship of E.L. Makarov*. – М.: Bauman STU of Moscow Publishers, 2014. – pp. 487.

7. **Qingbao Wang, Zhuoxin Li, Yaowu Shi, Lizhi Wang, Fei Liu** Interior crack and its formation mechanism in overlaying weld of back-up rolls // *Engineering Failure Analysis*. – 2013. – № 34. – PP. 268-277.

8. **Beczowski, R., Gucwa, M.** Defects appearing in the surfacing layers of abrasion resistant // *Archives of foundry engineering*. – 2016. – № 4. – PP. 23-28.

9. **Yakushin, B.F., Sudarev, A.V.** New method for wear-resistant surfacing alloy steel parts // *Welding and Diagnostics*. – 2013. – No.4. – PP. 50-55.

10. **Winarto, Priadi, D.** Effect of Preheating and Buttering on Cracking Susceptibility and wear resistance of hardfaced HSLA steel deposit // *Yosetsu Gakkai Ronbunshu*. – 2013. – Vol. 31. – № 4. – PP. 202-205.

11. **Mikheev, D.A., Amosov, A.P.** Pre-heating optimization at interlock restoration in drill pipes by method of surfacing // *Oil and Gas Exposition*. – 2015. – No.4. – PP. 23-26.

12. **Neverov, V.V., Karikh, V.V.** Experience in manufacturing bimetal metal-working tool used in production of rolled steel products // *New Materials and Technologies in Mechanical Engineering*. – 2007. – No.7. – PP. 128-130.

13. **Wei Ya, Belavendram Pathiraj** Residual stresses in Stellite 6 layers cladded on AISI 420 steel plates with a Nd:YAG laser // *Journal of laser applications*. – 2018. – Vol. 30. – № 30. – Article number 032007.

14. **Shi, R.R., Chen, S.Y., Peng, Y.G., Zhang, Z.** Effect of preheating temperature on microstructure of Fe based alloy coating by laser direct metal deposition // *Key engineering materials*. – 2016. – № 703. – PP. 94-99.

15. **Ryabtsev, I.A., Babinets, A.A., Gordan, G.N., Ryabtsev, I.I., Kaida, T.V., Yermeeva, L.T.** Structure of multi-layer samples imitating deposited tools for metal hot deformation // *Automated Welding*. – 2013. – No.9. – PP. 43-47.

16. **Gucwal, M., Winczek, J., Mician, M.** The effect of the preheating on to properties of the wear resistant welds // *Welding technology review*. – 2020. – Vol. 92. – № 2. – PP. 7-14.

17. **Fomichev, A.F., Krivitsky, B.A., Salienko, A.E., Yurgenson, E.E.** Preliminary estimate of conditions for die work for hot pressing // *Metal Working*. – 2007. – No.37. – PP. 45-47.

18. **Sokolov, G.N., Zorin, I.V., Tsurikhin, S.N.** Curvilinear profile restoration in pipe mill rollers with arc depositing // *Repair, Restoration, Updating*. – 2008. – No.6. – PP. 7-11.

REFERENCES

1. Sokolov, G.N., Lysak, V.I. *Wear-resistant Alloy Surfacing upon Press Stamps and Tool for Steel Hot Deformation*:

Рецензент д.т.н.
Андрей Викторович Киричек