

DOI: 10.53078/20778481\_2023\_2\_87

УДК 55.09.43

*А. С. Федосенко, И. А. Лисовая*

**ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА РЕАКТИВОВ НА ВЫЯВЛЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ И КОРРОЗИЮ ВЫСОКОЛЕГИРОВАННЫХ ХРОМОНИКЕЛЕВЫХ СТАЛЕЙ АУСТЕНИТНОГО КЛАССА, ПОЛУЧЕННЫХ СПОСОБАМИ ПОСЛОЙНОГО СИНТЕЗА**

*A. S. Fedosenko, I. A. Lisovaya*

**INFLUENCE OF CHEMICAL COMPOSITION OF REAGENTS ON MICROSTRUCTURE AND CORROSION OF AUSTENITIC HIGH ALLOYED CHROME-NICKEL STEELS PRODUCED BY LAYER-BY-LAYER SYNTHESIS TECHNIQUES**

**Аннотация**

В работе изложены результаты исследований, направленных на изучение влияния химических реактивов на процесс коррозии и выявление микроструктуры образцов из коррозионно-стойких сталей аустенитного класса. Исследовано влияние состава травителей и времени выдержки в них на скорость проявления микроструктуры, равномерность травления и пригодность металла для изучения структуры оптической микроскопией. Исследования проведены на образцах, полученных способами селективного лазерного сплавления, плазменной порошковой наплавки и дуговой наплавки в среде защитных газов. На основании полученных результатов предложены составы реактивов и условия травления для каждого материала в зависимости от способа послойного синтеза.

**Ключевые слова:**

химическое травление, «царская водка», химические реакции, микроструктура, аустенитная сталь, коррозия, селективное лазерное сплавление, плазменная наплавка, лазерная наплавка.

**Для цитирования:**

Федосенко, А. С. Влияние химического состава реактивов на выявление микроструктуры и коррозию высоколегированных хромоникелевых сталей аустенитного класса, полученных способами послойного синтеза / А. С. Федосенко, И. А. Лисовая // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2023. – № 2 (79). – С. 87–96.

**Abstract**

The paper presents the results of research aimed at studying the effect of chemical reagents on the corrosion process and revealing the microstructure of samples made of corrosion-resistant steels of the austenitic class. It has been studied how the composition of etchants and the exposure time to them influence the rate of microstructure manifestation, etching uniformity and the suitability of the metal for studying its structure by optical microscopy. The studies have been carried out with samples obtained by methods of selective laser melting, plasma powder surfacing and arc surfacing in the shielding gas environment. Based on the results obtained, the compositions of reagents and etching conditions for each material are proposed, depending on the technique of layer-by-layer synthesis.

**Keywords:**

chemical etching, aqua regia, structure, chemical reactions, austenitic steel, corrosion, selective laser melting, plasma surfacing, laser surfacing.

**For citation:**

Fedosenko, A. S. Influence of chemical composition of reagents on microstructure and corrosion of austenitic high alloyed chrome-nickel steels produced by layer-by-layer synthesis techniques / A. S. Fedosenko, I. A. Lisovaya // Belarusian-Russian University Bulletin. – 2023. – № 2 (79). – P. 87–96.

## **Введение**

Металлографические исследования занимают важное место в области материаловедения. Изучение микроструктуры металлов широко используется в литейном производстве, при получении изделий послойным синтезом, сваркой, обработкой давлением.

Неотъемлемой частью процесса металлографических исследований является химическая или электрохимическая обработка изучаемой поверхности, направленная на проявление микроструктуры материала. Правильный выбор химического реактива, его концентрации, а также условий процесса травления играет ключевую роль в получении изображений, позволяющих проводить анализ строения материала.

Вопросам, связанным с металлографическим травлением металлов и сплавов, посвящено большое количество работ [1–7]. Однако собранная в них информация представляет список химических веществ, которые были использованы исследователями при проведении собственных исследований. При этом не акцентируется внимание на особенностях действия травителей, что затрудняет оценку их эффективности.

Отдельной группой промышленных материалов являются высоколегированные никельхромовые стали аустенитного класса. Их важнейшая характеристика – высокая коррозионная стойкость. Для выявления микроструктуры в таких сталях используют наиболее агрессивные травители. Как правило, это высококонцентрированные растворы на основе соляной и азотной кислот. Чаще всего травление сталей проводят реактивом, получившим название «царская водка». При ее использовании процесс травления идет быстро и неравномерно, а обрабатываемая поверхность быстро покрывается темной пленкой, затрудняющей исследование. По этой причине подбор химического реактива, обеспечивающего эффективное травле-

ние и выявление микроструктуры аустенитных сталей, до настоящего времени остается актуальной задачей.

В данной работе представлены результаты исследований, направленных на изучение влияния состава химических реактивов и условий травления на микроструктуру аустенитных сталей, полученных различными технологиями, включая селективное лазерное сплавление, плазменную порошковую наплавку, дуговую наплавку. Цель исследования – определение наиболее эффективных составов химических реактивов, применение которых обеспечивает выявление микроструктуры синтезированных материалов с помощью оптической микроскопии.

## **1 Методика проведения экспериментов**

Подготовка образцов, использованных для изучения действия реактивов, проводилась по стандартной методике. Образцы запрессовывались в термореактивный полимер с помощью автоматического пресса Metkon ECOPRESS 100, после чего шлифовались набором алмазных дисков с № 54, 18, 6, 3 на автоматическом шлифовально-полировальном станке FORCIPOL 202, оснащенном автоматическим головным устройством FORCIMAT 102. Далее следовало полирование на жестко закрепленном сукне с применением алмазной суспензии, содержащей абразивные зерна размером 5 мкм. Перед травлением образцы обезжиривались этиловым спиртом.

В качестве исходных компонентов для химического травления использовали соляную кислоту марки «ч», азотную кислоту марки «ч», хлорид меди, фторводородную кислоту, хлорид алюминия, глицерин, сульфат меди, хромовый ангидрид, концентрированную ортофосфорную кислоту.

Обработку стали проводили при комнатной температуре травителя и

образца.

Время травления определяли с помощью секундомера С-01.

Состав исследуемых реактивов представлен в табл. 1.

Табл. 1. Химический состав растворов для травления аустенитных сталей

Номер состава раствора	Состав реактива
1	75 мл HCl + 25 мл HNO <sub>3</sub>
2	75 мл HCl + 25 мл HNO <sub>3</sub> + CuCl <sub>2</sub> (до насыщения)
3	50 мл HCl + 50 мл H <sub>2</sub> O + 10 г CuSO <sub>4</sub>
4	35 мл HCl + 5 мл HNO <sub>3</sub> + 3 мл HF + 50 мл H <sub>2</sub> O
5	30 мл HCl + 15 мл HNO <sub>3</sub> + 10 г AlCl <sub>3</sub> + 50 мл H <sub>2</sub> O
6	20 мл HCl + 10 мл HNO <sub>3</sub> + 30 мл глицерина
7	21 мл HCl + 25 г CrO <sub>3</sub>

При приготовлении травителей на основе «царской водки» раствор перед применением выдерживался в течение 24 ч. В травитель № 2 хлорид меди добавлялся в количестве, обеспечивающем получение насыщенного раствора. В состав травителя № 3 плавиковая кислота добавлялась непосредственно перед использованием реактива.

Время травления в зависимости от вида обрабатываемого материала и используемого травителя составляло от 3 до 40 мин.

Термическая обработка образцов заключалась в отжиге при температуре 900 °С в течение 2 ч.

Структура обработанных образцов изучалась с помощью микроскриннера МС МикроЛаб-1.

## 2 Результаты исследований

### 2.1 Влияние состава травителей на выявление микроструктуры материала, полученного селективным лазерным сплавлением

Исследования проводились на образцах, не подвергавшихся термообработке после печати, а также об-

разцах, прошедших отжиг при температуре 900 °С.

Установлено, что большинство выбранных реактивов оказывают на поверхность образцов схожее действие, заключающееся в постепенном растворении исследуемой поверхности. Однако границы зерен материала и их размер не проявляются независимо от длительности обработки и используемого реактива. В то же время химическая обработка проявляет пространственное положение и геометрию дорожек наплавленного металла, оставляемых лазерным лучом в процессе оплавления слоя порошка.

Применение раствора № 1 способствует быстрому и эффективному проявлению границ сплавления слоев получаемого компактного материала, при этом реактив вызывает существенное потемнение исследуемой поверхности даже в течение короткого времени обработки.

Реактивы № 2 и 3, содержащие соли меди, показали наиболее активное воздействие на поверхность образцов. Раствор хлорида меди в «царской водке» способствует быстрому и контрастному выявлению дорожек сканирова-

ния. Однако активное действие реактива усложняет контроль за проявлением микроструктуры материала. Даже при незначительном превышении допустимого времени выдержки образца в растворе его поверхность темнеет, что затрудняет изучение микроструктуры с помощью оптического микроскопа и исключает возможность получения качественных цифровых снимков. Согласно результатам экспериментов, время травления данным раствором не должно превышать 5 с.

Применение реактива № 3, содержащего сульфат меди, приводит к сильной коррозии поверхности образца и его потемнению даже при обработке в течение 2...5 с. На исследуемой плоскости в первую очередь темнеют участки, содержащие дефекты в виде мельчайших царапин, микропор, микровключений (рис. 1). Исходя из этого было принято

решение в дальнейшем данный реактив не использовать, что не исключает возможности его применения, например, в сочетании с периодическим механическим полированием.

Растворы № 4–6 оказывают на поверхность микрошлифов менее агрессивное воздействие. В процессе обработки структура проявляется постепенно и равномерно.

При обработке травителем № 4 микроструктура стали начинает проявляться после воздействия в течение 60 с, а четкая картина ориентации дорожек и их параметры проявляются при воздействии раствора на образец в течение 180 с и более, при этом увеличение длительности обработки более 5 мин заметно не изменяет общую картину микроструктуры. Обработка в течение более 10 мин приводит к заметному потемнению поверхности образца.

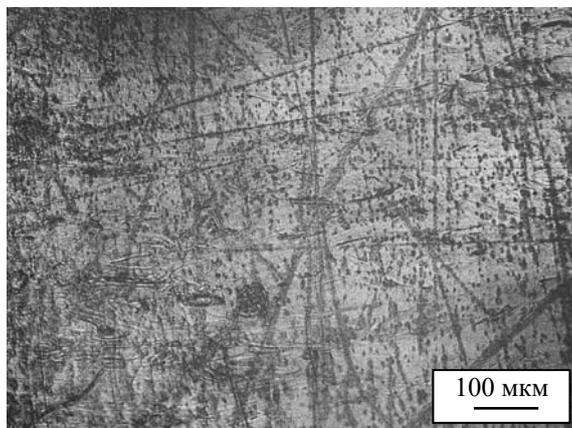


Рис. 1. Поверхность металла после обработки раствором № 3 (50 мл HCl + 50 мл H<sub>2</sub>O + 10 г CuSO<sub>4</sub>) в течение 5 с

Действие реактива № 5 схоже с действием реактива № 4, однако процесс травления идет быстрее. Микроструктура начинает проявляться уже после 10 с обработки, и в полной мере все ее характерные особенности проявляются после 30 с выдержки в растворе. Травление в течение более 60 с можно считать нецелесообразным. Следует отметить, что состав № 5 дает более кон-

трастное изображение благодаря неравномерному потемнению отдельных участков обрабатываемой поверхности.

Действие травителя № 6, представляющего собой раствор «царской водки» в глицерине, близко к действию растворов № 4 и 5, при этом длительность выдержки должна составлять 5...10 мин. Увеличение времени сопровождается потемнением поверхности. В первую

очередь темнеют микродефекты в виде царапин и пор, которые на ранних стадиях обработки реактивом визуально не определяются.

Типичная микроструктура мате-

риала, полученного селективным лазерным сплавлением с последующей обработкой травителем № 6, представлена на рис. 2.

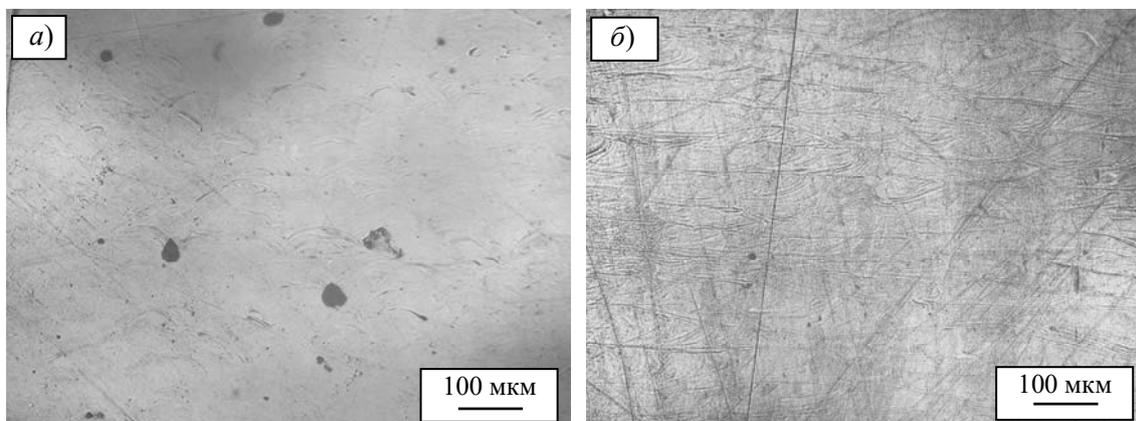


Рис. 2. Микроструктура образцов после обработки реактивом № 6 (поперечное сечение): *a* – в плоскости, перпендикулярной направлению перемещения лазерного луча (время обработки – 7 мин); *б* – в плоскости, продольной направлению перемещения лазерного луча (время обработки – 15 мин)

Как было отмечено ранее, с увеличением длительности воздействия реактива поверхность образца покрывается пленкой продуктов реакции. Согласно исследованиям [8], основу этой пленки составляют оксиды железа, включая оксиды нестехиометрического состава  $Fe_8O_{11}$  и  $Fe_3O_4$ . Поскольку данная пленка существенно затрудняет изучение микроструктуры и способствует заметному ухудшению качества получаемых

цифровых изображений, для ее удаления было предложено использовать концентрированную ортофосфорную кислоту. Обработка заключалась в механическом воздействии на поверхность образца ватным тампоном, смоченным кислотой. Длительность обработки составляла 10...15 с. Такое воздействие позволяет удалить большую часть продуктов реакции (рис. 3).

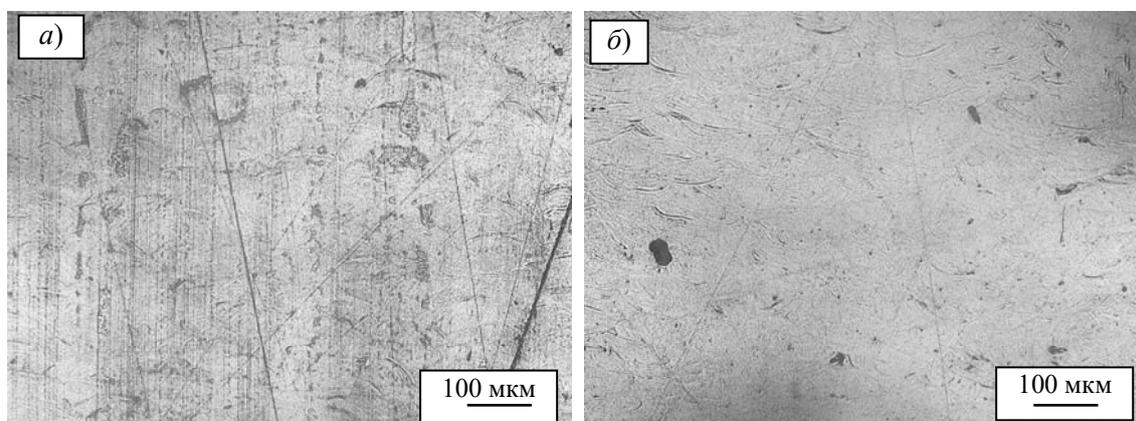


Рис. 3. Поверхность образца после химической обработки раствором 75 мл HCl + 25 мл HNO<sub>3</sub>: *a* – после травления; *б* – после травления и обработки H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>

Эффективность действия ортофосфорной кислоты зависит от длительности выдержки материала в травителе. Для образцов, подвергавшихся действию раствора в течение времени, превышающем указанное в табл. 1, данного эффекта достичь, как правило, не удастся. Предположительно, это обусловлено образованием более толстой и прочной пленки либо изменением ее химического состава.

Процесс проявления микроструктуры отожженных образцов под действием исследуемых растворов отличается от процесса травления образцов без термообработки. Большинство рассматриваемых реактивов позволяет качественно проявить микроструктуру исследуемой поверхности.

Наилучшие результаты показали травители № 4–6. Реактив № 1 пригоден для использования, однако выявление структуры идет крайне активно и неравномерно. Обработка сопровождается быстрым растворением отдельных участков исследуемой поверхности и их интенсивным потемнением. Для выявления структуры требуется не более 7 с. В случае последующего использования ортофосфорной кислоты время погружения в раствор может быть увеличено до 10 с.

Характер действия травителей № 4–6 приблизительно одинаков. Отличие лишь в количестве времени, необходимом для получения близких результатов. Раствору № 4 для проявления микроструктуры требуется 20...40 мин, в то время как действие реактива № 5 должно ограничиваться интервалом в 1...2,5 мин, поскольку более длительная выдержка сопровождается сильным окислением и потемнением исследуемой поверхности. Образовавшийся слой с помощью ортофосфорной кислот не удаляется.

Применение травителя с хлоридом меди способствует интенсивному и неравномерному окислению поверхности образцов. По этой причине использовать данный реактив для обработки

отожженной стали, полученной селективным лазерным сплавлением из механически легированного порошка, нецелесообразно.

Как показали исследования, микроструктура образцов из механически легированного порошка (рис. 4, а) отличается от микроструктуры образцов, полученных из серийно выпускаемого материала (рис. 4, б). Вероятно, стали имеют отличия в фазовом составе. По этой причине влияние рассматриваемых растворов на структуру отожженных образцов из серийно выпускаемого порошка отличается от действия на образцы из механически легированного порошка. Так, установлено, что применение травителей № 4–6 обеспечивает четкое контрастное выявление микроструктуры. Все три раствора позволяют получить четкие изображения формы и размера зерен, их ориентацию. При этом увеличение длительности обработки растворами более номинального времени не ухудшает визуализацию микроструктуры исследуемой поверхности (см. рис. 4, б).

Раствор № 1 также проявляет микроструктуру отожженной стали, однако травление идет неравномерно. При небольшой длительности травления на поверхности присутствуют области, на которые реактив не оказал заметного влияния. Одновременно с этим присутствуют локальные участки с сильной коррозией и потемнение поверхности. С увеличением выдержки данный эффект несколько нивелируется, однако визуально качество обработанной поверхности значительно уступает качеству, полученному при использовании растворов № 4–6.

Раствор № 2 приводит к быстрому неравномерному травлению и потемнению поверхности материала. По этой причине его применение для химического травления нецелесообразно, что не исключает возможности его использования в сочетании с периодическим механическим полированием.

В табл. 2 приведены условия травления образцов из нержавеющей стали,

полученных способом селективного лазерного сплавления (СЛС).

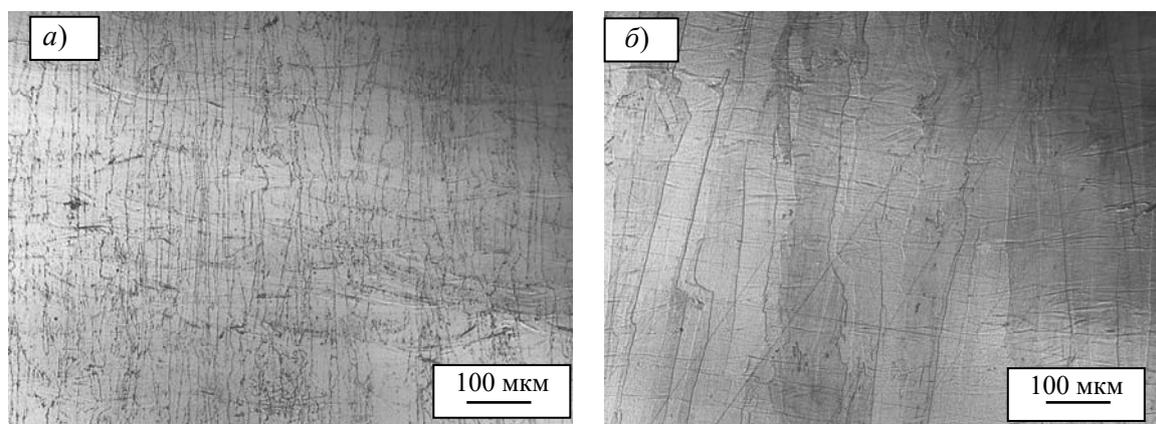


Рис. 4. Микроструктура отожженных образцов, полученных способом СЛС после обработки реактивом состава 35 мл HCl + 5 мл HNO<sub>3</sub> + 3 мл HF + 50 мл H<sub>2</sub>O: а – механически легированный порошок (время травления – 35 мин); б – серийно выпускаемый материал (время травления – 15 мин)

Табл. 2. Условия химической обработки образцов стали, полученной способом селективного лазерного сплавления

Состав реактива	Время выдержки		Температура раствора, °С
	Сталь без отжига	Сталь после отжига	
Сталь, полученная послойным синтезом с использованием механически легированного порошка			20
75 мл HCl + 25 мл HNO <sub>3</sub>	2...5 с; до 15 с*	3...7 с; до 10 с*	
75 мл HCl + 25 мл HNO <sub>3</sub> + CuCl <sub>2</sub>	2...5 с	–	
35 мл HCl + 5 мл HNO <sub>3</sub> + 3 мл HF + 50 мл H <sub>2</sub> O	180...600 с; до 7 мин*	20...40 мин	
30 мл HCl + 15 мл HNO <sub>3</sub> + 10 г AlCl <sub>3</sub> + 100 мл H <sub>2</sub> O	20...60 с	60...150 с	
20 мл HCl + 10 мл HNO <sub>3</sub> + 30 мл глицерина	180...600 с; до 20 мин*	20...30 мин	
Сталь, полученная послойным синтезом с использованием серийно выпускаемого порошка			
75 мл HCl + 25 мл HNO <sub>3</sub>	2...5 с	20...30 с	
75 мл HCl + 25 мл HNO <sub>3</sub> + CuCl <sub>2</sub>	2...5 с	–	
35 мл HCl + 5 мл HNO <sub>3</sub> + 3 мл HF + 50 мл H <sub>2</sub> O	180...600 с	10...25 мин	
30 мл HCl + 15 мл HNO <sub>3</sub> + 10 г AlCl <sub>3</sub> + 100 мл H <sub>2</sub> O	20...60 с	180...300 с	
20 мл HCl + 10 мл HNO <sub>3</sub> + 30 мл глицерина	180...600 с	10...20 мин	
<i>Примечание</i> – * – травление с последующей обработкой ортофосфорной кислотой			

## 2.2 Изучение влияния травителей на структуру материалов, полученных послойной дуговой и плазменной порошковой наплавками

Влияние исследуемых реактивов на проявление микроструктуры образцов изучалось на материалах, не подвергавшихся термической обработке.

Действие травителей на поверхность образцов из нержавеющей стали, полученных способами дуговой наплавки в среде защитных газов и плазменной порошковой наплавкой, отличается от действия на сталь, изготовленную селективным лазерным сплавлением. Реактивы № 1, 3–6 оказывают на микроструктуру металла близкое по характеру действие. Их применение позволяет визуализировать микроструктуру,

установить размер зерен и направление их кристаллизации, выявить зоны сплавления между основным металлом и наплавленным слоем, а также между отдельными слоями.

Особенность действия составов № 1, 3–6 заключается в неравномерном проявлении микроструктуры материала и границ зерен при небольшой длительности обработки. Увеличение времени травления способствует проявлению границ зерен, однако вместе с тем наблюдается активное растворение и прилегающих к ним областей. Параллельно идет активное растворение поверхности самих зерен. В результате этого границы между зернами размываются, а сами зерна имеют нечеткую геометрию (рис. 5).

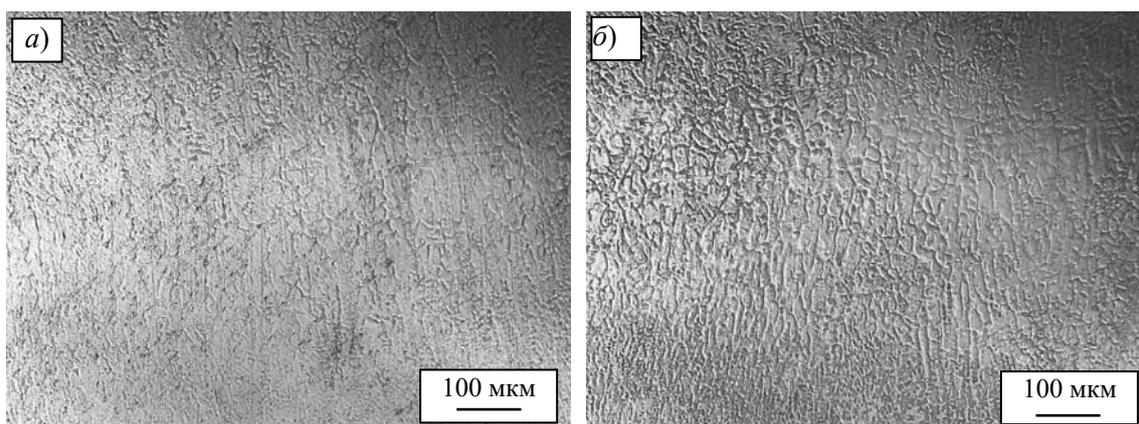


Рис. 5. Микроструктура материала, полученного послойной дуговой наплавкой коррозионно-стойкой стали аустенитного класса

Положительной стороной реактивов № 1, 3–6 является отсутствие на обрабатываемой поверхности пленки продуктов реакции. При этом следует отметить, что обработка реактива № 1 сопровождается неравномерным растворением поверхности металла с образованием на ранних стадиях травления протравленных и перетравленных областей. Увеличение длительности травления несколько нивелирует начальную неравномерность проявления микроструктуры, однако качество обработан-

ной поверхности достаточно низкое.

Наилучший результат показал реактив № 2. Применение «царской водки» с хлоридом меди позволило получить наиболее четкие и контрастные изображения. Травление в течение 3...10 с способствует качественному выявлению формы и размера зерен, направлению их роста. Реактив позволяет четко определить зоны сплавления и особенности их микроструктуры, зону термического влияния и микроструктуру материала основы (рис. 6).

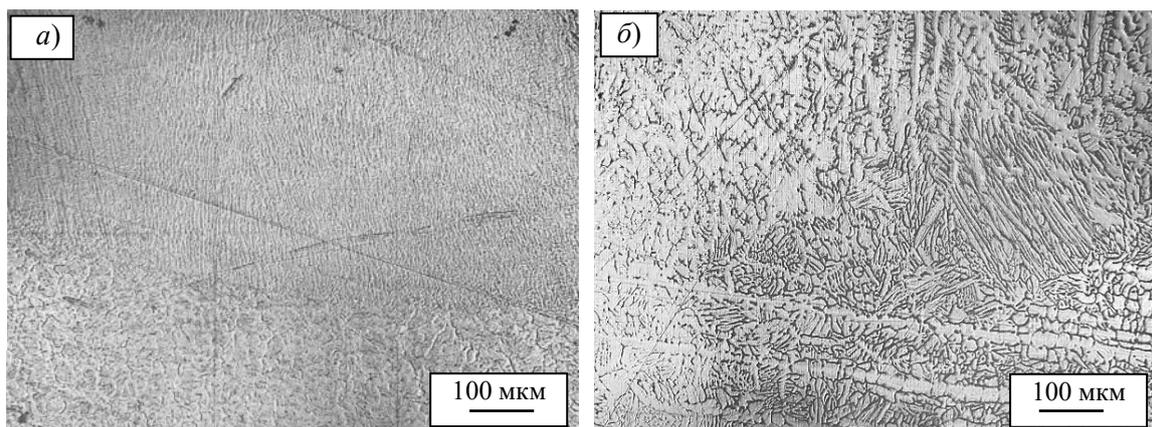


Рис. 6. Микроструктура материала, полученного послойной наплавкой, после обработки раствором № 2: *a* – зона сплавления слоев, полученных дуговой наплавкой; *б* – зона сплавления первого слоя с подложкой (ЗТВ) при плазменной наплавке

В случае использования реактива № 2 обязательной операцией является последующее применение ортофосфорной кислоты. Эффективным способом удаления образующейся пленки продуктов реакции также может служить последующая обработка раствором № 4, позволяющим получить более

светлое поле исследуемой поверхности. Длительность выдержки в реактиве при этом должна составлять 1...2 мин.

Условия обработки материалов, полученных послойным синтезом с помощью дуговой наплавки, а также плазменной порошковой наплавки, представлены в табл. 3.

Табл. 3. Условия химической обработки образцов из аустенитных сталей, полученных дуговой наплавкой и плазменной порошковой наплавкой

Состав реактива	Время выдержки	Температура раствора, °С
75 мл HCl + 25 мл HNO <sub>3</sub>	3...30 с	20
75 мл HCl + 25 мл HNO <sub>3</sub> + CuCl <sub>2</sub>	4...10 с	
35 мл HCl + 5 мл HNO <sub>3</sub> + 3 мл HF + 50 мл H <sub>2</sub> O	12...20 мин	
30 мл HCl + 15 мл HNO <sub>3</sub> + 10 г AlCl <sub>3</sub> + 50 мл H <sub>2</sub> O	5...15 мин	
20 мл HCl + 10 мл HNO <sub>3</sub> + 30 мл глицерина	15...25 мин	

### Заключение

1. Химическая обработка аустенитных сталей, полученных способом селективного лазерного сплавления, не позволяет выявить форму и размер зерен методом оптической микроскопии как на образцах, изготовленных из серийно выпускаемого порошка, так и на образцах из разработанного механически легированного материала. Травите-

ли позволяют выявить лишь контуры дорожек, образующихся при расплавлении слоя порошка лазерным лучом.

2. Отожженные образцы стали, изготовленной способом СЛС, подвергаются эффективному травлению большинством исследуемых реактивов. В зависимости от состава травителя длительность обработки может варьироваться от 3 с до 25 мин.

Наиболее эффективными травите-

лями для выявления микроструктуры отожженных образцов, полученных способом СЛС, являются растворы: 30 мл HCl + 15 мл HNO<sub>3</sub> + 10 г AlCl<sub>3</sub> + 50 мл H<sub>2</sub>O, 35 мл HCl + 5 мл HNO<sub>3</sub> + 3 мл HF + 50 мл H<sub>2</sub>O, а также 20 мл HCl + 10 мл HNO<sub>3</sub> + 30 мл глицерина, расположенные в порядке убывания их активности.

3. Для выявления микроструктуры образцов, полученных плазменной порошковой наплавкой и дуговой наплавкой в среде защитных газов, пригодными являются большинство реактивов. При этом наиболее эффективен травитель состава 75 % HCl + 25 % HNO<sub>3</sub> + CuCl<sub>2</sub>, применение которого обеспечивает быстрое и контрастное проявление микроструктуры с четкими границами зерен, зон термического влияния и сплавления между слоями, при длительности травления не более 10 с.

4. Наименьшую пригодность для

выявления микроструктуры сталей аустенитного класса показали растворы 50 мл HCl + 50 мл H<sub>2</sub>O + 10 г CuSO<sub>4</sub> и 21 мл HCl + 25 г CrO<sub>3</sub>. Действие раствора сульфата меди в соляной кислоте сопровождается активным образованием на исследуемой поверхности продуктов взаимодействия стали с травителем, что затрудняет изучение структуры материала. Раствор хромового ангидрида в соляной кислоте на исследуемые стали заметного влияния не оказывает.

5. Установлено, что эффективным способом удаления пленки, образующейся на поверхности обрабатываемых материалов и представляющей собой продукт взаимодействия стали с травителем, является обработка концентрированной ортофосфорной кислотой. При этом эффективность применения данного соединения снижается с увеличением длительности травления.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранова, Л. В. Металлографическое травление металлов и сплавов / Л. В. Баранова, Э. Л. Демина. – Москва: Металлургия, 1986. – 256 с.
2. Беккерт, М. Способы металлографического травления / М. Беккерт, Х. Клемм. – Москва: Металлургия, 1988. – 400 с.
3. Грилихес, С. Я. Обезжиривание, травление и полирование металлов / С. Я. Грилихес; под ред. П. М. Вячеславова. – Ленинград: Машиностроение, 1983. – 101 с.
4. Коваленко, В. С. Металлографические реактивы / В. С. Коваленко. – Москва: Металлургия, 1981. – 120 с.
5. Паршутин, В. В. Коррозионное и электрохимическое поведение псевдосплавов на основе вольфрама и их компонентов / В. В. Паршутин // Электронная обработка материалов. – 2008. – № 6. – С. 27–45.
6. Паршутин, В. В. Ингибирование коррозии сталей в растворах для электрохимической размерной обработки металлов. I. Простые и низколегированные стали. Выбор промывочных растворов / В. В. Паршутин, Н. С. Шолтоян // Электронная обработка материалов. – 2000. – № 1. – С. 40–54.
7. Паршутин, В. В. Коррозия сталей в модельных средах, природных и технологических водах / В. В. Паршутин, Н. С. Шолтоян // Электронная обработка материалов. – 1988. – № 5–6. – С. 32–52.
8. Томашов, Н. Д. Теория коррозии и коррозионно-стойкие конструкционные сплавы / Н. Д. Томашов, Г. П. Чернова. – Москва: Металлургия, 1986. – 359 с.

*Статья сдана в редакцию 30 апреля 2023 года*

**Алексей Сергеевич Федосенко**, канд. техн. наук, доц., Белорусско-Российский университет. Тел.: +375-295-46-96-34. E-mail: 5trannik@tut.by.

**Ирина Александровна Лисовая**, канд. биол. наук, Белорусско-Российский университет. Тел.: +375-295-96-77-92. E-mail: lisovaya-irina@list.ru.

**Aleksei Sergeyevich Fedosenko**, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor, Belarusian-Russian University. Tel.: +375-295-46-96-34. E-mail: 5trannik@tut.by.

**Irina Aleksandrovna Lisovaya**, Cand. Sc. (Biology), Belarusian-Russian University. Tel.: +375-295-96-77-92. E-mail: lisovaya-irina@list.ru.