



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2024-1-63-68>
УДК 669.017:620.1; 669.017:620.1.05

Поступила 20.11.2023
Received 20.11.2023

АРТЕФАКТЫ В МЕТАЛЛОГРАФИИ: ПЯТНА НА ПОВЕРХНОСТИ ШЛИФОВ

А. Г. АНИСОВИЧ, Институт прикладной физики НАН Беларуси,
г. Минск, Беларусь, ул. Академическая, 16. E-mail: anna-anisovich@yandex.ru

В статье в качестве артефактов рассмотрены пятна воды и реактивов, а также ложные структуры, возникающие на поверхности шлифов металлов и сплавов в процессе металлографической пробоподготовки и травления. Продемонстрирован вид таких артефактов при светлопольном освещении, а также при применении средств оптического контрастирования темного поля и поляризованного света.

Ключевые слова. Металлографические шлифы, пробоподготовка, травление, вода, темнопольное освещение, поляризованный свет.

Для цитирования. Анисович, А. Г. Артефакты в металлографии: пятна на поверхности шлифов / А. Г. Анисович // *Литье и металлургия*. 2024. № 1. С. 63–68. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2024-1-63-68>.

ARTIFACTS IN METALLOGRAPHY: STAINS ON THE SURFACE OF METALLOGRAPHIC SAMPLES

A. G. ANISOVICH, Institute of Applied Physics of the National Academy of Sciences of Belarus,
Minsk, Belarus, 16, Akademicheskaya str. E-mail: anna-anisovich@yandex.ru

The article discusses stains from water and reagents, as well as false structures that occur on the surface of metal and alloy samples during metallographic sample preparation and etching. The appearance of such artifacts under bright-field illumination and when using optical contrasting techniques such as dark-field and polarized light is demonstrated.

Keywords. Metallographic samples, sample preparation, etching, water, dark-field illumination, polarized light.

For citation. Anisovich A. G. Artifacts in metallography: stains on the surface of metallographic samples. *Foundry production and metallurgy*, 2024, no. 1, pp. 63–68. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2024-1-63-68>.

Первым этапом любого металлографического исследования является пробоподготовка, цель которой – создать образец с зеркальной поверхностью. Качество такой поверхности должно обеспечить надежную идентификацию структуры материала, в которой не было бы места неточностям, вносимым различными артефактами.

В формировании металлографических шлифов и их травлении на микроструктуру важную роль играют различные жидкости. Изготовление шлифов на стадии тонкой шлифовки и полировки происходит с применением разных растворов и/или суспензий. Заключительной операцией пробоподготовки (перед травлением) является промывка и сушка. При травлении на микроструктуру используются растворы реактивов, потом следует этап мойки и сушки. Поэтому различные пятна – достаточно распространенный дефект металлографических шлифов. Они остаются вследствие плохой очистки шлифов, недостаточной просушки их после изготовления, травления, а также при контакте с посторонними предметами, в частности руками (отпечатки пальцев). Большое значение имеют также морфология поверхности образцов, наличие трещин или иных несплошностей. Соответственно дефекты такого рода должны быть узнаваемы, поскольку они не только загрязняют шлиф и мешают распознавать детали изображения, но и могут привести к ошибке интерпретации, в силу того что создают определенные оптические эффекты как при использовании светлопольного освещения, так и в темном поле и поляризованном свете.

Цель данной работы – демонстрация эффектов присутствия нежелательных следов воды и загрязнений на металлографических шлифах.

Изображения поверхности шлифов различных металлов и сплавов получены на металлографических микроскопах МИКРО-200 и МИ-1.

На рис. 1, *а*, *б* показаны соответственно специально нанесенная на поверхность нетравленного шлифа капля воды и след от этой же капли после ее высыхания. При высыхании на месте капли образуется пятно с черной окантовкой и радужными кольцами по форме капли. Поскольку на поверхности шлифа всегда имеются определенные минимальные загрязнения, окантовка и кольца образуются за счет перераспределения и концентрации этих загрязнений по мере высыхания воды. Радужные кольца – это проявление интерференции света на сформировавшейся пленке (из «раствора грязи»). Еще один вариант капель воды представлен на рис. 2. Отдельные капли формируются вокруг жировых загрязнений (рис. 2, *а*), в данном случае это пятно, созданное пальцем. В общей массе капли воды могут декорировать границы зерен (светлые линии на рис. 2, *б*, на которых нет капель). Полезной информации подобные изображения не несут.

След от воды хорошо виден при различных увеличениях не только при светлопольном освещении (рис. 3, *а*), но и в темнопольном освещении (рис. 3, *б*). «Светятся» высохшие пятна воды, а также пыль.

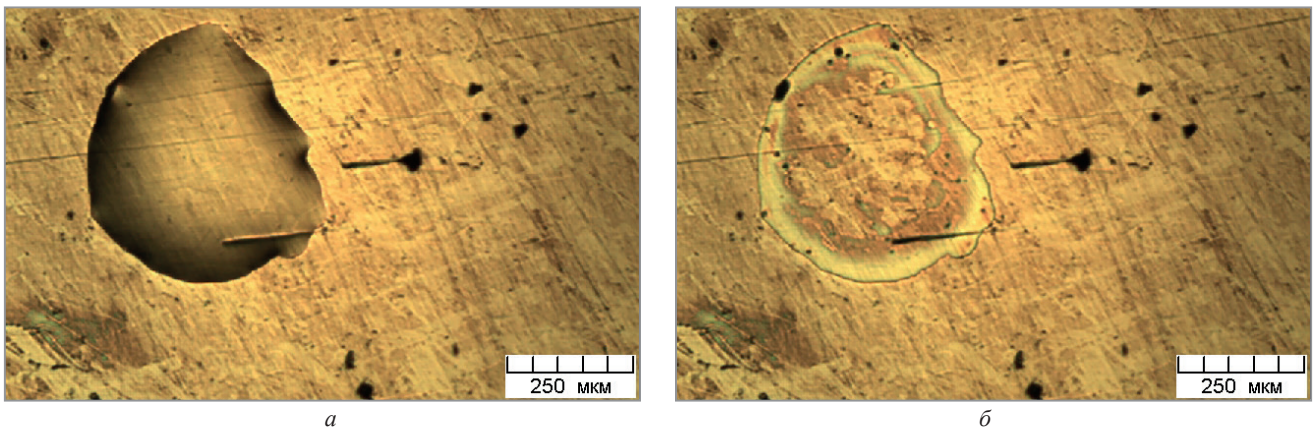


Рис. 1. Капля воды на поверхности шлифа кислородной меди (*а*); пятно, оставшееся после высыхания капли (*б*)

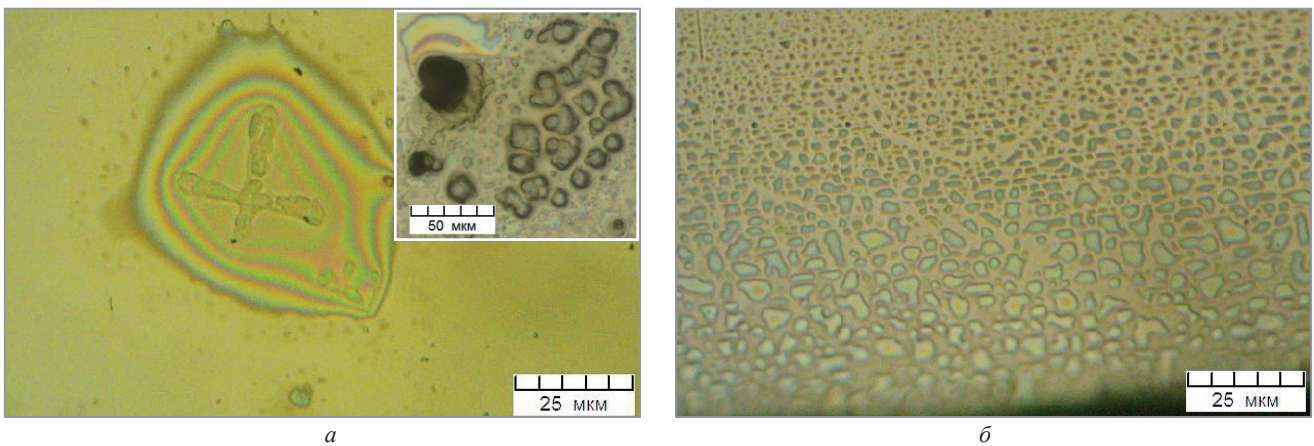


Рис. 2. Пленка высохшей воды вокруг загрязнения (*а*) и границы зерен, декорированные каплями воды (*б*)

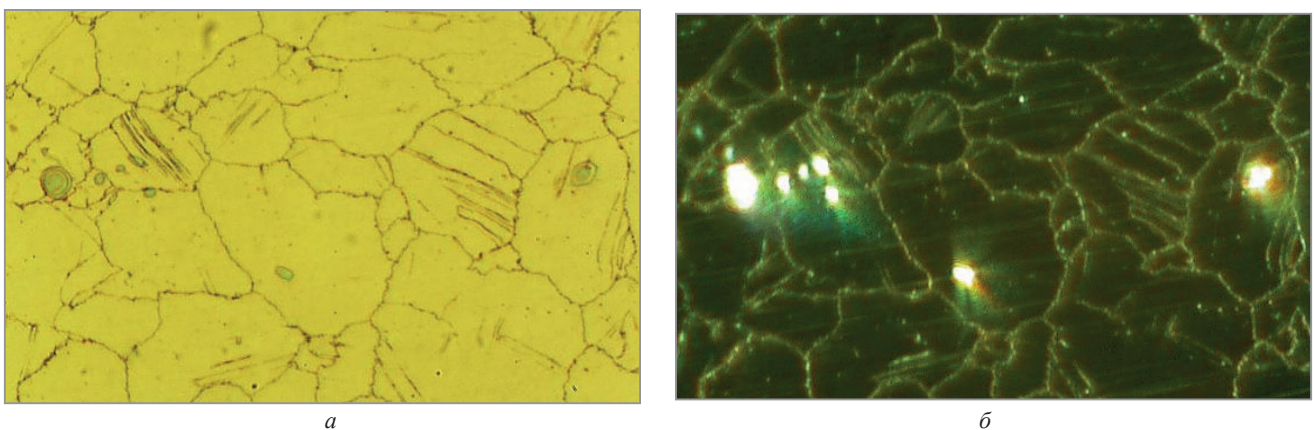


Рис. 3. Пятна воды на поверхности сплава кобальт-хром: *а* – светлопольное освещение; *б* – темнопольное освещение

Более сложный пример представлен на рис. 4. Капли воды, оставшиеся на плоской поверхности шлифа, как правило, удаляются фильтровальной бумагой. При необходимости шлиф можно повторно промыть или обработать этиловым спиртом и просушить. Если шлиф не имеет полостей, трещин и других несплошностей на поверхности, то вопрос о воде для данного образца далее не актуален. Иное дело, если в образце имеется трещина, пора и т.д. После промывки готового шлифа и его сушки фильтром вода может подняться на полированную поверхность из такой внутренней полости в силу капиллярного эффекта. На рис. 4 показаны зоны некачественной сварки с каплей воды в устье дефекта. Черные участки – пора и зона стыка металла. На рис. 4, *а* капля еще не высохла и при небольшом увеличении может быть принята за наплыв металла при формировании сварного шва. На рис. 4, *б* капля уже высохла, видны радужные кольца за счет интерференции света на сформированной пленке. На рис. 4, *в* показан тот же участок после травления и тщательной промывки и сушки; артефакт практически отсутствует.

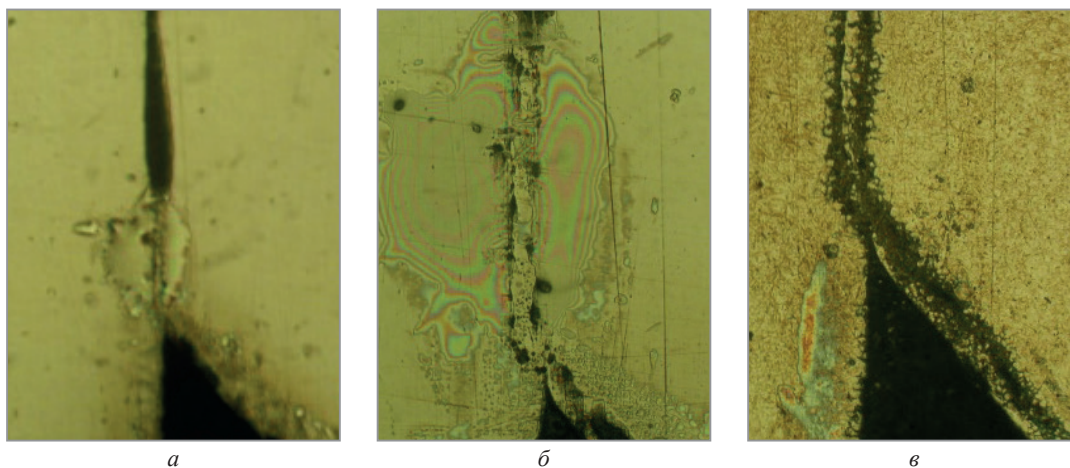


Рис. 4. Вода, поднимающаяся на поверхность шлифа по несплошностям в сварном шве:
а – свежая капля; *б* – пленка от высохшей капли; *в* – травление

Формирование на поверхности шлифов радужных пятен от реактивов после металлографического травления можно считать некоторым признаком пористости структуры, в частности, у некачественного литья. На рис. 5, *а* показаны высохшие пятна воды с остатками травящего реактива с цветами побежалости за счет затекания реактива в поры графита и последующего его распространения по шлифу в силу капиллярного эффекта. В наибольшей степени эти пятна связаны с наличием пор на границе включения графита и металлической матрицы. Аналогичная картина представлена на рис. 5, *б* для углеродистой стали. Между неметаллическим включением и матрицей имеется пора, в которую при травлении попал травящий реактив, образовавший при высыхании цветную пленку.

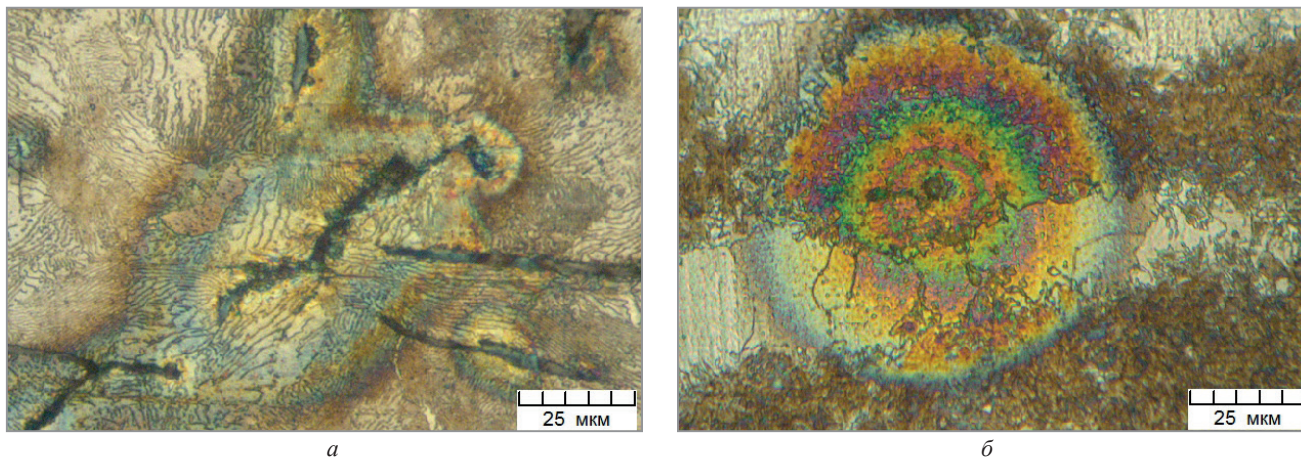


Рис. 5. Пятна травителя: *а* – серый чугун; *б* – сталь

Пятна воды и реактивов способны создавать оптические эффекты в поляризованном свете. Чаще всего высохшие пятна воды имеют достаточно правильную округлую форму (рис. 6). Физически они

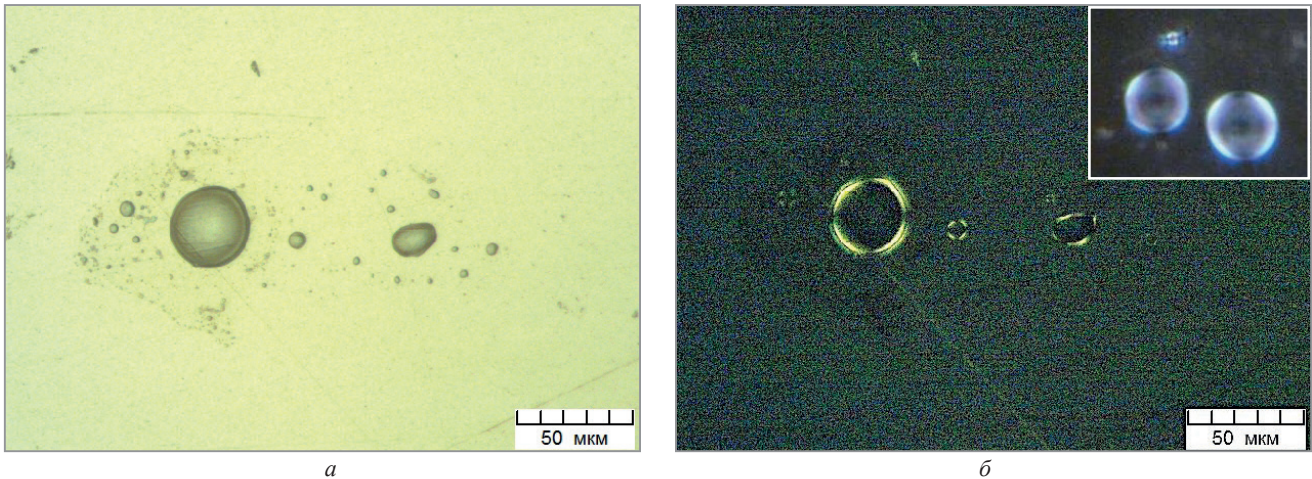


Рис. 6. Оптические эффекты на пятнах загрязнений: *а* – светлое поле; *б* – поляризованный свет

представляют собой определенного рода пленки выпуклой формы и уже в светлом поле демонстрируют эффект муаровых полос (рис. 1, *б*; 2, *а*; 5). Проявление эффектов зависит в том числе и от увеличения, которое должно быть оптимальным для получения наиболее детальной картины артефакта. В светлом поле пятна воды имеют серый или голубой цвет, иногда на них проявляется эффект муаровых полос (рис. 6, *а*). В поляризованном свете пятна воды могут образовывать коноскопическую фигуру, так называемый темный крест (рис. 6, *б*). Форма изображения артефакта зависит от величины капли и ее формы. При совершенной сферической форме изображение может напоминать коноскопическую фигуру от включений силикатов. У овальных пятен светятся четыре фрагмента по краям.

Для сравнения представлены структуры, не содержащие артефактов, но показывающие эффекты, которые можно принять за артефакты. При малом увеличении вокруг неметаллических включений видно колечко, при повышении увеличения оно идентифицируется как зона измененной структуры вокруг включения (рис. 7, *а*, *б*). Присутствует в том числе и артефакт вокруг включения в виде оторочки перетрава вокруг включения. Возможно, что на границе раздела включения и металла имеется некоторая пористость, которая «набирает» травящий реактив и в дальнейшем, поднимаясь к поверхности, способствует локальному перетраву.

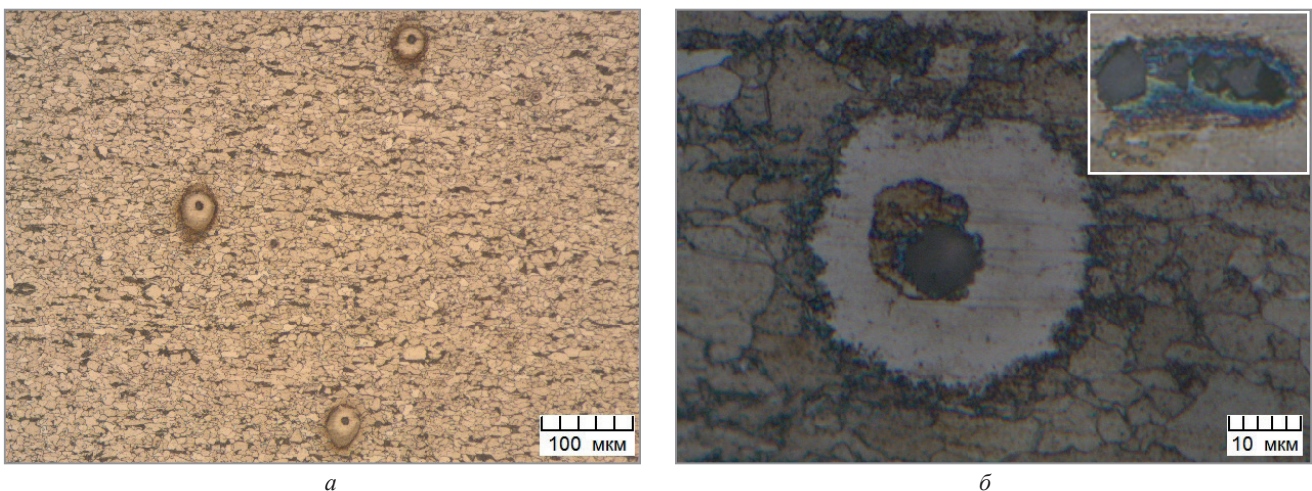


Рис. 7. Неоднородность структуры конструкционной стали, содержащей неметаллические включения

Вода в сочетании с загрязнениями может создавать на поверхности шлифов ложные структуры. На рис. 8 показано загрязнение, которое начало растворяться в процессе промывки шлифа; после этого раствор закристаллизовался с образованием структур, подобных дендритам.

«Дендритные» структуры образуются на поверхности за счет плохой промывки шлифов после полировки и травления. Своеобразными концентраторами при этом являются различные включения или пылинки на поверхности, а также царапины (рис. 9). Если не вся вода, сконцентрированная в царапине, удалена при сушке, то остатки жидкости распространяются по шлифу, создавая ложную структуру.

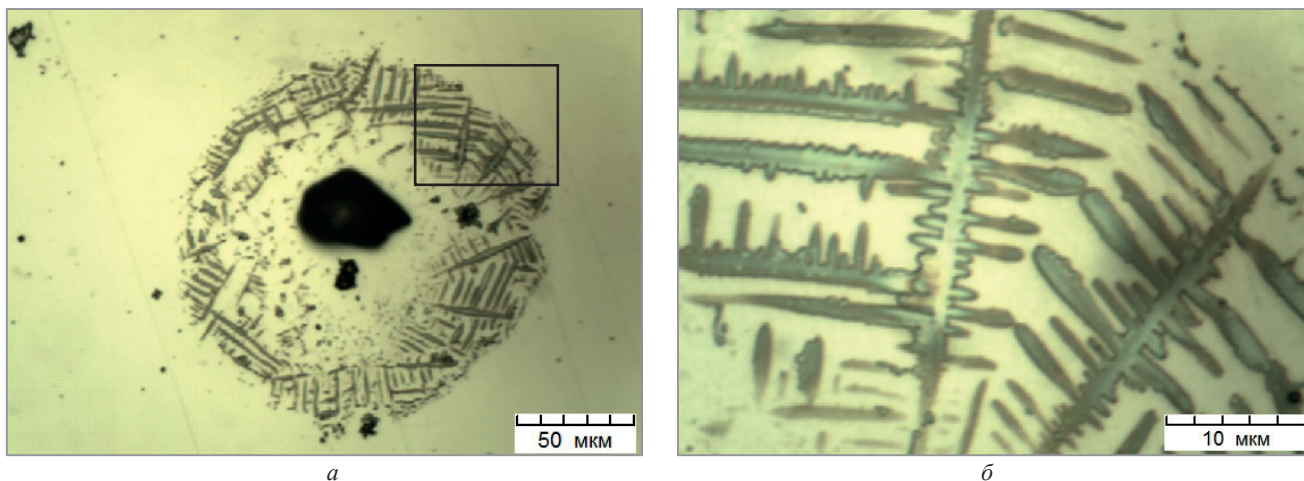


Рис. 8. Оторочка вокруг постороннего включения на поверхности (а) и ее увеличенный фрагмент (б)

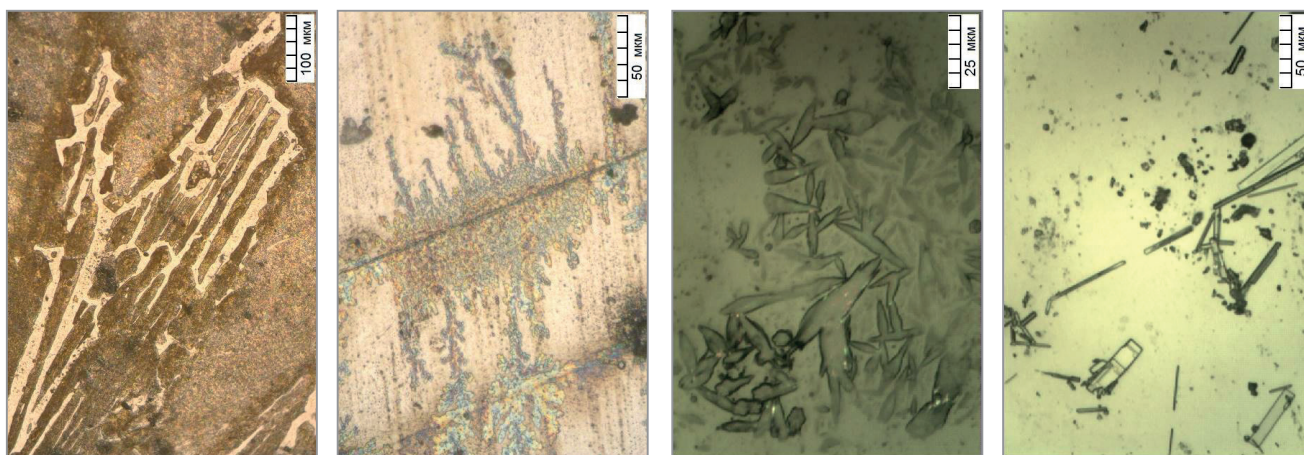


Рис. 9. Ложная структура на поверхности шлифа

Пример соотношения грязи на шлифе и структуры приведен ниже. После заключительной полировки на шлифе наблюдаются пятна непонятного происхождения (рис. 10, а), которые при повышении увеличения соблазнительно принять за фазу, выявившуюся при полировке шлифа (рис. 10, б). На рис. 10, а и 11, а приведен прицельно один и тот же участок шлифа до и после травления. Картина распределения пятен на нетравленном образце (рис. 10, а) практически совпадает с картиной распределения фазы после травления (рис. 11, а). На рис. 11, а показана фаза, выделенная для количественной обработки. Распределения грязи и фазы по площадям подобны (рис. 11, б). Поэтому в данном случае на нетравленном шлифе действительно была видна фаза, декорированная продуктами полировки.

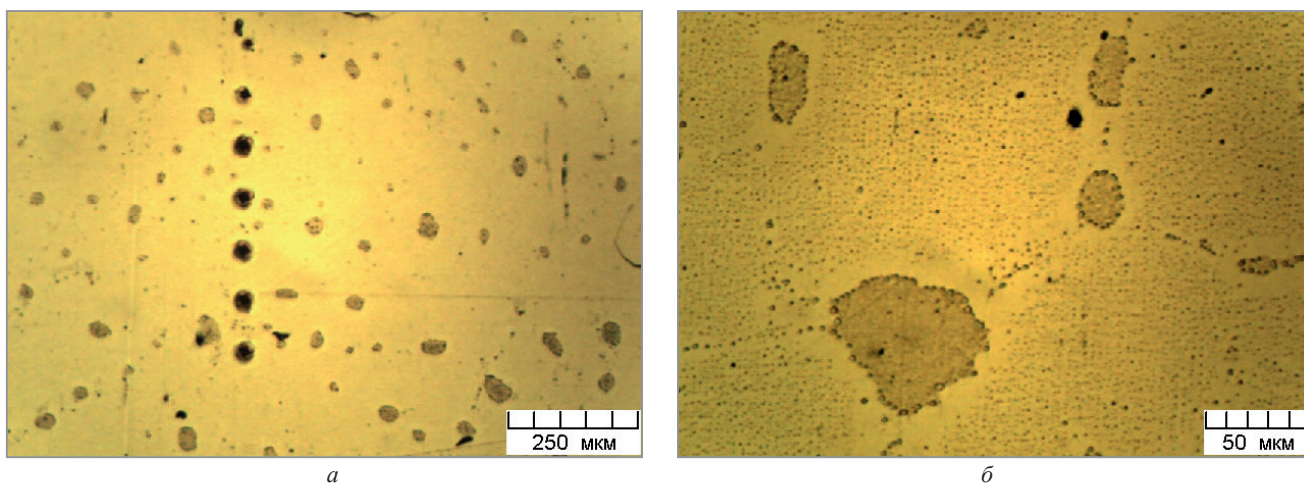


Рис. 10. Грязь на нетравленном шлифе

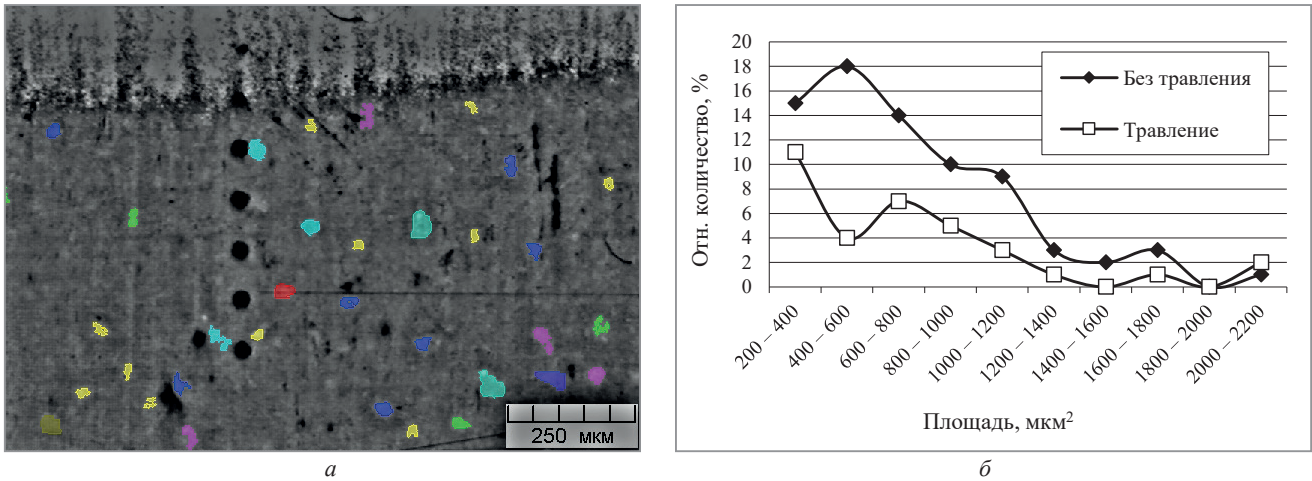


Рис. 11. Результат количественного анализа:
a – шлиф после травления операции и обнаружения объектов; *б* – распределение объектов по размерам

На рис. 12, *a* показана поверхность шлифа вольфрама после травления с артефактом в виде пятна иного цвета и структуры, структура самого металла – на рис. 12, *б*, структура в пятне – на рис. 12, *в*. Она не имеет ничего общего с реальной структурой материала и сформировалась, вероятно, при травлении в области пузырька воздуха.

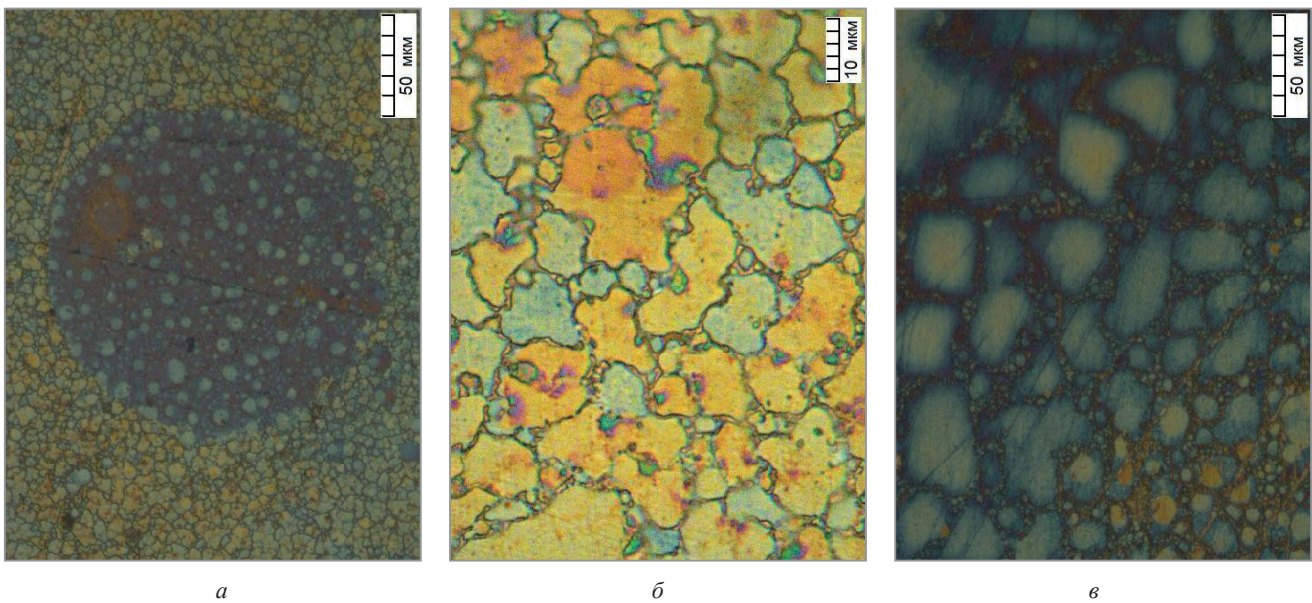


Рис. 12. Шлиф сплава на основе вольфрама: *a* – структура с артефактом; *б* – структура сплава; *в* – ложная структура в пятне

Работа выполнена при поддержке Белорусского фонда фундаментальных исследований, проект № T23MH-003.