



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2026-2-95-105>  
УДК 669.017:620.1

Поступила 31.03.2026  
Received 31.03.2026

## АРТЕФАКТЫ В МЕТАЛЛОГРАФИИ: ДЕФЕКТЫ МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКОГО ТРАВЛЕНИЯ

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

*В статье рассматриваются результаты металлографического травления меди, никеля, свинца, некоторых сталей при использовании различных травящих реактивов. Представлены результаты успешного выявления структуры и дано ее описание, также приведены ошибки и артефакты травления. В качестве артефактов рассматриваются перетрав, формирование цветов побежалости, пленки травящего реактива и ложные структуры на поверхности шлифов, неперетрав. Выявление структуры образцов, полученных СВС-процессом, представлено с использованием метода прицельной металлографии как в зависимости от времени травления, так и при использовании различных реактивов.*

**Ключевые слова.** Металлографическое травление, шлиф, микроструктура, металлографические реактивы, прицельная металлография.

**Для цитирования.** Анисович, А. Г. Артефакты в металлографии: дефекты металлографического травления / А. Г. Анисович // *Литье и металлургия*. 2026. № 2. С. 95–105. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2026-2-95-105>.

## ARTIFACTS IN METALLOGRAPHY: METALLOGRAPHIC ETCHING DEFECTS

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](mailto:anna-anisovich@yandex.ru)

*This article examines the results of metallographic etching of copper, nickel, lead, and some steels using various etching reagents. The results of successful structure detection and description are presented, along with etching errors and artifacts. Artifacts considered include overetching, formation of annealing colors, etching reagent films, and false structures on the surface of thin sections, as well as unetched sections. Structure detection in samples obtained by the SHS process is presented using the targeted metallography method, both depending on the etching time and using various reagents.*

**Keywords.** Metallographic etching, thin section, microstructure, metallographic reagents, targeted metallography.

**For citation.** Anisovich A. G. Artifacts in metallography: metallographic etching defects. *Foundry production and metallurgy*, 2026, no. 2, pp. 95–105. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2026-2-95-105>.

### Введение

На поверхности нетравленого металлографического шлифа структура неразличима [1]. В нетравленном состоянии при металлографическом исследовании определяют наличие неметаллических включений, пор, трещин, а также графит в сером чугуна и т.п., т.е. особенности, при наличии которых структура или ее дефекты рассматриваются в качестве бинаризованного изображения. В некоторых случаях при полировке образцов возможно выявление фаз. Это связано с их различной твердостью (например, сплавы системы алюминий – кремний – силумины) или отражающей способностью.

Для выявления структуры металлов и сплавов используют металлографическое травление, которое является заключительным этапом пробоподготовки, после него наступает этап исследования структуры. Металлографическое травление – процесс химического или электролитического воздействия на отполированную поверхность металлического образца (шлифа) для обнаружения его микроструктуры: границ зерен, фаз, дефектов. Оно основано на избирательном растворении структурных составляющих, обладающих разным электрохимическим потенциалом, что обеспечивает контраст при микроскопии [2]. Это позволяет изучать структуру под микроскопом, определять размер зерна и фазовый состав, а также особенности протекания фазовых и структурных превращений при термической обработке [3] или иных способах внешнего воздействия.

Успешность операции травления зависит от правильного выбора состава реактива, режима травления этим реактивом, чистоты поверхности образца до травления, промывки и сушки шлифа после

травления. Методики металлографического травления разнообразны. К ним относятся методы погружения, втирания, в токе раствора, нанесения капли, травящая полировка, анодное травление, термическое травление, цветное травление, напыление, метод реплик. Некоторые из них уже не используются в силу значительного прогресса исследовательской техники, прежде всего растровой микроскопии и элементного анализа, что позволяет надежно идентифицировать фазы в составе сплавов. Тем не менее металлографическое исследование остается одним из основных методов исследования материалов, и операция травления как составная комплекса пробоподготовки актуальна и востребована.

Выбору состава травителя для выявления микроструктуры посвящено достаточно много работ, в частности [4–6], где приведены составы реактивов, которые подбирают исходя из состава сплава, а также описание структурного результата воздействия реактива. В ходе исследований различными авторами были установлены многочисленные закономерности, влияющие на результат травления [1]. Однако изображения структур, полученные при различных вариантах травления, в литературе приводятся редко. Практически не приводятся и артефакты металлографического травления на примере реальных образцов.

Несмотря на большой объем информации, полученной в результате многочисленных металлографических исследований, процесс травления не является до конца изученным. Поскольку результат травления зависит от многих факторов, выбор травителя зачастую происходит методом проб при учете известных составов.

В статье приведены результаты подбора травителей для металлографического травления меди, никеля, свинца, некоторых сталей, материалов, полученных СВС-процессом, а также рассмотрены артефакты металлографического травления.

### Материалы и методики эксперимента

Микроструктурные исследования выполнены на металлографическом комплексе на основе инвертированного микроскопа МИ-1, оснащенного программой обработки изображений IMAGE SP (разработчик УП «СИСПРОГ») для фотографирования и количественной обработки данных. Использован метод прицельной металлографии с освещением по методу светлого поля. Шлифы изготавливали по общепринятой методике. Составы реактивов для травления приведены в таблице.

Составы реактивов

Номер реактива	Состав
1	Реактив Келлера : HCl – 1,5 мл, HF – 1 мл, HNO <sub>3</sub> – 2,5 мл, H <sub>2</sub> O – 95 мл
2	Насыщенный раствор K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> – 50–100 мл, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> – 10 мл
3	4 мл HNO <sub>3</sub> + 96 мл C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH
4	Раствор HF в воде
5	HCl концентрированная
6	HCl, пары
7	CH <sub>3</sub> COOH концентрированная
8	HF – 1 часть + HNO <sub>3</sub> – 1 часть
9	HNO <sub>3</sub> – 1 часть, HCl – 1,5 части, H <sub>2</sub> O – 1 часть
10	H <sub>2</sub> O – 50 мл + HCl – 15 мл + HNO <sub>3</sub> – 25 мл + HF – 10 мл
11	Реактив Келлера: HF – 1 часть, HCl – 1,5 части; HNO <sub>3</sub> – 2,5 части; H <sub>2</sub> O – 5 частей
12	K <sub>3</sub> [Fe(CN) <sub>6</sub> ] – 1 часть, KOH – 1 часть, H <sub>2</sub> O – 10 частей
13	HNO <sub>3</sub> – 1 часть, HF – 1 часть, H <sub>2</sub> O – 10 частей

### Основная часть

#### Влияние состава травителя

На рис. 1, 2 показано влияние состава травителя на вид структуры простых материалов – никеля и кислородной меди при травлении реактивами № 1 и 2. При травлении никеля наилучшим оказался реактив № 2 (рис. 1, а). При травлении реактивом Келлера на поверхности остаются продукты реакции, границы зерен выявляются плохо (рис. 1, б). Хотя реактив Келлера предназначен для травления сплавов цветных металлов, результаты травления конкрентных металлов различны. Существует несколько вариантов состава реактива Келлера [4], которые применяются для разных сплавов в зависимости от их состава и/или различного исходного состояния (отжиг, деформация, литье и т.п.). Приведенный выше

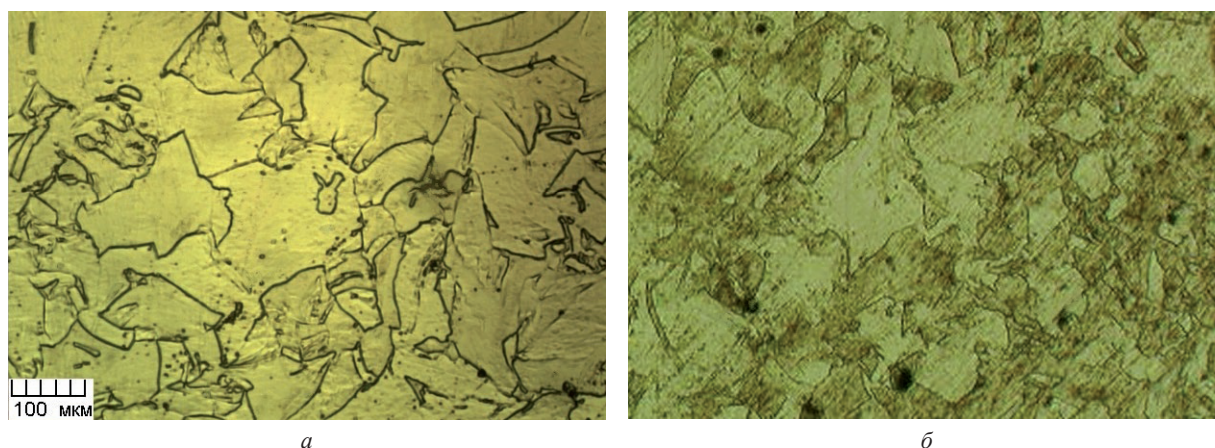


Рис. 1. Микроструктура никеля после травления: *a* – реактив № 2; *б* – реактив № 1

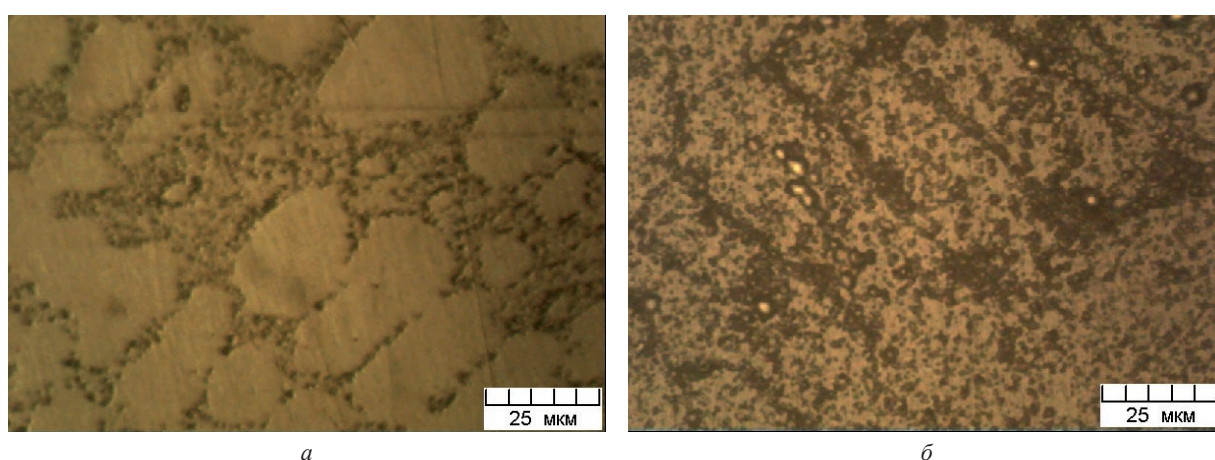


Рис. 2. Микроструктура меди М00к после травления: *a* – реактив № 1; *б* – реактив № 2

состав реактива Келлера (№ 1) оказался оптимальным для кислородной меди М00к (рис. 2, *a*), в структуре которой выявляются дендриты меди и эвтектика  $\text{Cu}+\text{Cu}_2\text{O}$ . Ранее отмечалось, что на выделениях  $\text{Cu}_2\text{O}$  (куприт) возможно осаждение оксида хрома, который используется при окончательной полировке металлографических образцов [7]. По-видимому, этот эффект присутствует и на фотографиях структур в [8]. Осаждение имеет место по всей площади шлифа, предпочтительно на межзеренных и двойниковых границах. При промывке шлифа этиловым спиртом осадки частично растворяются. Наиболее полное удаление продуктов полировки достигается при травлении шлифа реактивом Келлера. При этом вид эвтектики существенно изменяется. Применение реактива № 2 (рис. 2, *б*) приводит к сильному растраву поверхности. Поскольку, помимо кислорода, в составе меди нет практически никаких примесей, то «растрав» не может иметь место за счет избирательного вытравливания фаз иного состава. В данном случае растрав на поверхности меди представляет собой ямки травления [9].

На рис. 3 представлены результаты неправильного подбора травителя для углеродистой стали. Термическая обработка – закалка и отпуск. Традиционным реактивом для железоуглеродистых сплавов является 3–5%-ный раствор азотной кислоты в этиловом спирте (ниталь, реактив № 3). При травлении стали этим реактивом он успешно выявляет структуру (рис. 3, *a*). Применение раствора плавиковой кислоты (реактив № 4) вызывает сильное окисление поверхности (рис. 3, *б*).

Выявление структуры нержавеющей стали – непростая задача. Для примера установления структуры выбраны образцы нержавеющей стали низкого качества, показавшей неудовлетворительную пластичность при обработке давлением. Химический состав образцов в основном соответствовал составу нержавеющей стали. Для травления использовали концентрированную соляную кислоту. Травление втиранием реактива (№ 5) тампоном вызывает общее окисление поверхности (рис. 4, *a*). После травления в парах реактива (№ 6) в образце выявляется аустенитная структура с большим количеством темных включений, образовавшихся, вероятно, вследствие наличия большого количества нерегламентированных примесей (рис. 4, *б*).

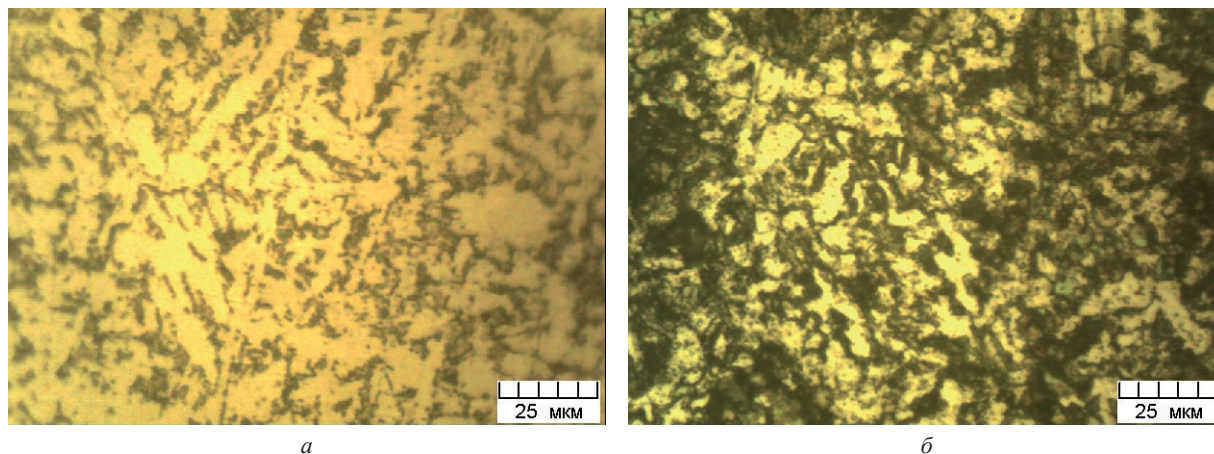
*a**б*

Рис. 3. Влияние состава травителя на выявление структуры углеродистой стали: *a* – ниталь № 3; *б* – раствор HF в воде (№ 4)

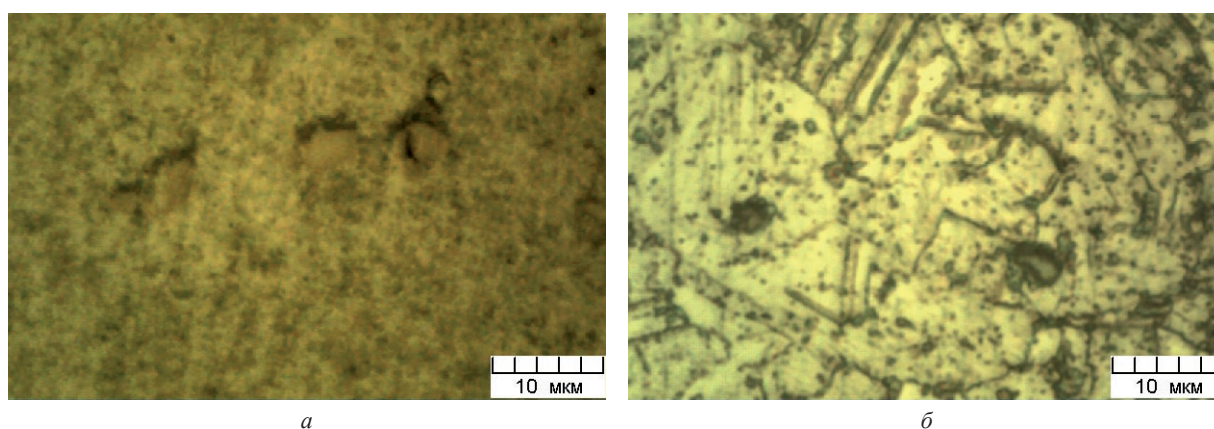
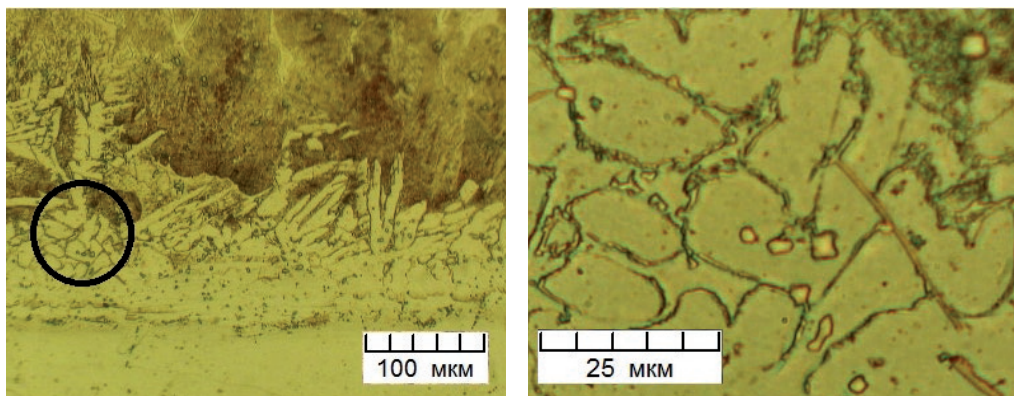
*a**б*

Рис. 4. Структура нержавеющей стали: *a* – после обычного травления, реактив № 5; *б* – в парах соляной кислоты, реактив № 6

При металлографическом анализе биметаллов, композиций из различных материалов, упрочняющих и защитных слоев появляются трудности, связанные с подбором травителя, который одинаково успешно выявлял бы все структурные особенности образца [10]. В первую очередь, как правило, исследователей интересует именно зона контакта материалов вместе с диффузионной зоной, прилегающей к линии соединения материалов с двух сторон. При этом диффузионная зона содержит в себе элементы, присутствующие обоим соединяемым материалам, зачастую весьма разнородным. Поэтому выбор травителя не всегда удачен в силу невозможности найти состав, который подходил бы для всей зоны контакта. На рис. 5 приведены результаты подбора травителя для композиции нитинол-сталь. Были опробованы составы № 7, 3, 8. Как видно из сравнения структур, травление реактивами № 7 и 3 дает приблизительно одинаковые результаты при выявлении структуры диффузионной зоны при увеличении 400 (рис. 5, *a*, *в*). При более детальном рассмотрении при увеличении 2000 выявление нитридов наилучшим образом производится при травлении уксусной кислотой (рис. 5, *б*, *г*). Травитель с азотной кислотой (№ 3) несколько

*a**б*

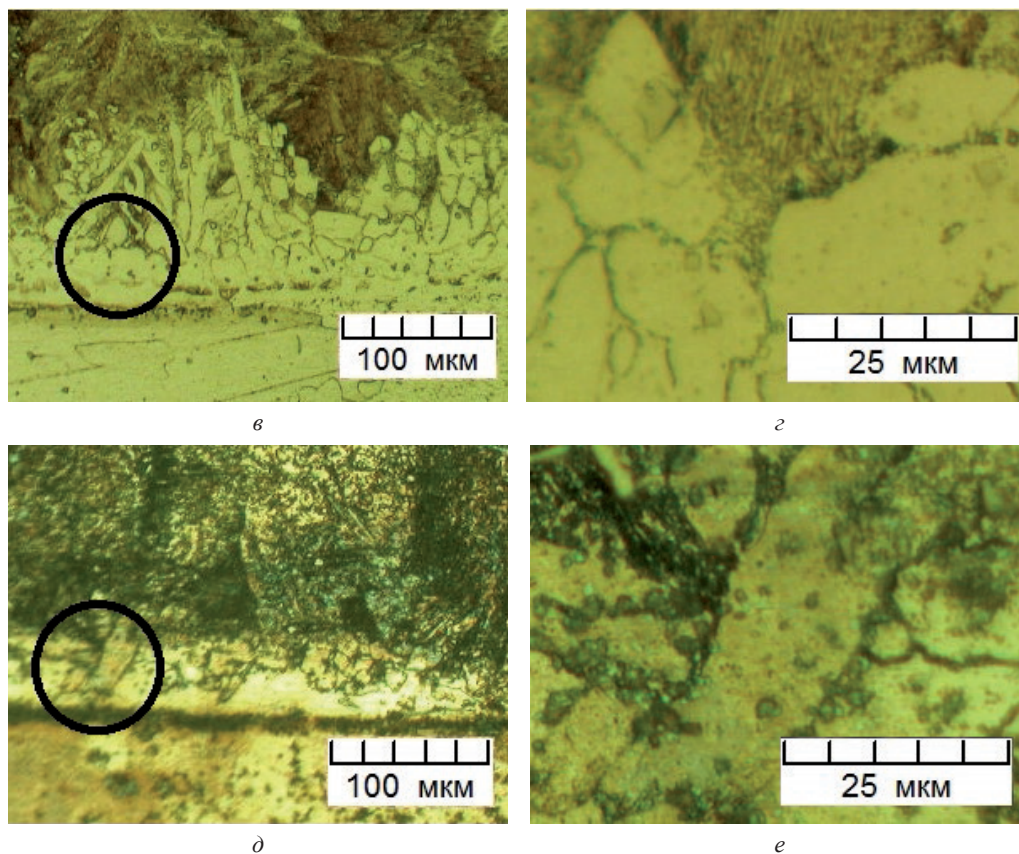


Рис. 5. Структура контактного слоя наплавки Ni-Ti на сталь: *a, б* – реактив № 7; *в, г* – реактив № 3; *д, е* – реактив № 8

больше растравливает диффузионную зону, фазы видны хуже (рис. 5, *в, г*). Травитель № 8 показал наихудшие результаты: линия сплавления растравлена, при больших увеличениях видно окисление поверхности, растрав фаз, общий перетрав структуры (рис. 5, *д, е*).

### Пористые системы

Для металловедения сталь, никель и медь являются традиционными объектами. Намного сложнее обстоит дело с покрытиями, многокомпонентными и пористыми системами, травление которых на микроструктуру вообще представляет собой трудную задачу. При травлении компактных образцов промывка и сушка удаляют все остатки реактива и влаги с поверхности образца. В процессе травления пористых образцов травящий реактив попадает в поры образца и не удаляется до конца промывкой и сушкой. Вследствие капиллярных явлений остатки реактива «поднимаются» на поверхность шлифа и фактически продолжают процесс травления (рис. 6, *а*) [10]. При хорошем качестве литья пористость отсутствует (рис. 6, *б*) и травление успешно.

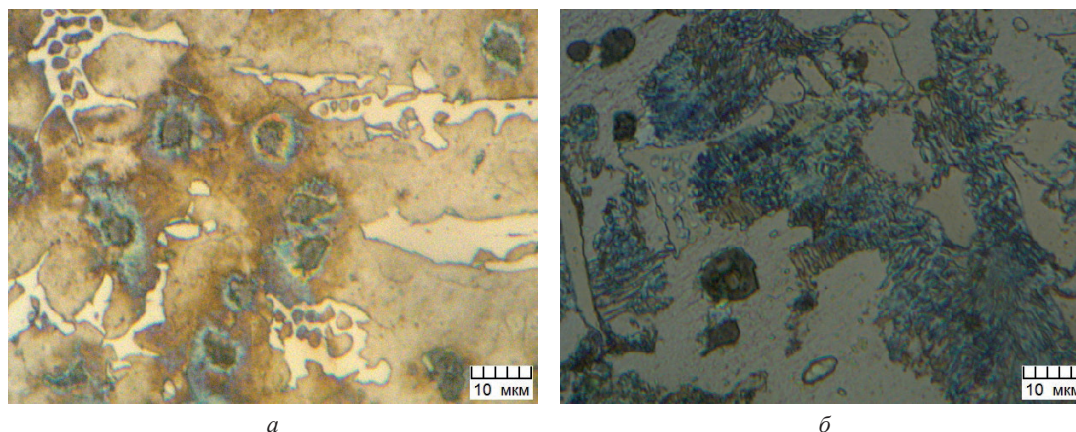


Рис. 6. Результаты травления образцов чугуна с различной пористостью: *а* – пористость на границе матрица – графит; *б* – пористость отсутствует; реактив № 3

Еще один пример сложных пористых образцов – материалы, полученные методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) [11, 12]. Влияние времени травления на результат выявления структуры показано на рис. 7 на примере системы Ti–В. Травление произведено реактивом № 9. При повышении времени травления структура растравливается, но лучше обнаруживаются фазы. Особенность данного реактива заключается в избирательном действии на поверхность зерен с кубической структурой.

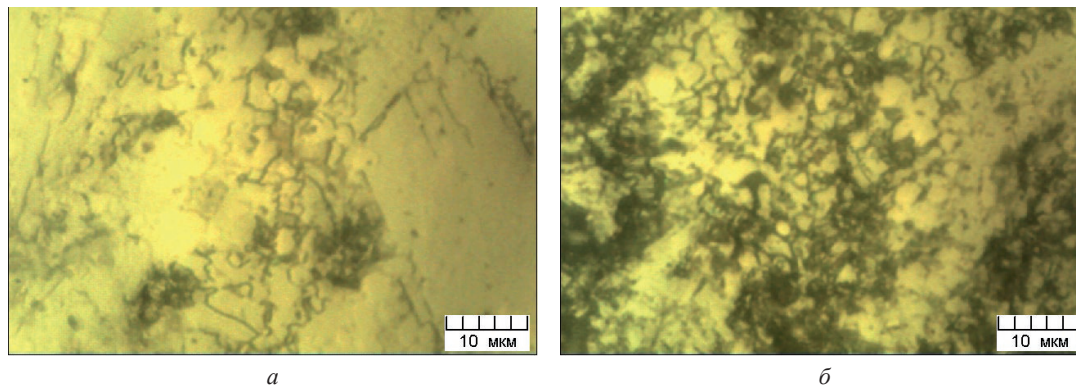


Рис. 7. Травление материала состава Ti–В, полученного СВС-процессом:  
а – кратковременное травление; б – длительное травление, реактив № 9, прицельная металлография

На рис. 8 показаны фотографии одного и того же участка металлизированной компоненты в системе Ti–В, сформированной СВС, с различным временем травления реактивом Келлера (реактив № 10). Светлые участки на темном фоне после 8 с травления однозначно можно отнести в фазе  $TiB_2$ , кристаллизующейся в гексагональной системе, а темную составляющую структуры – к фазе TiВ, кристаллизующейся в кубической системе.

Помимо проблемы с пористостью, СВС-продукты имеют сложный фазовый состав, что создает дополнительные трудности при подборе травителя. На рис. 9 представлены результаты выявления структуры образцов состава Ti–Si<sub>0,8</sub> после травления реактивами № 11, 12, 13. Реактивом № 11 структура выявляется слабо (рис. 9, а). Реактив № 12 подчеркивает фазовые различия, но не выявляет границ зерен (рис. 9, б).

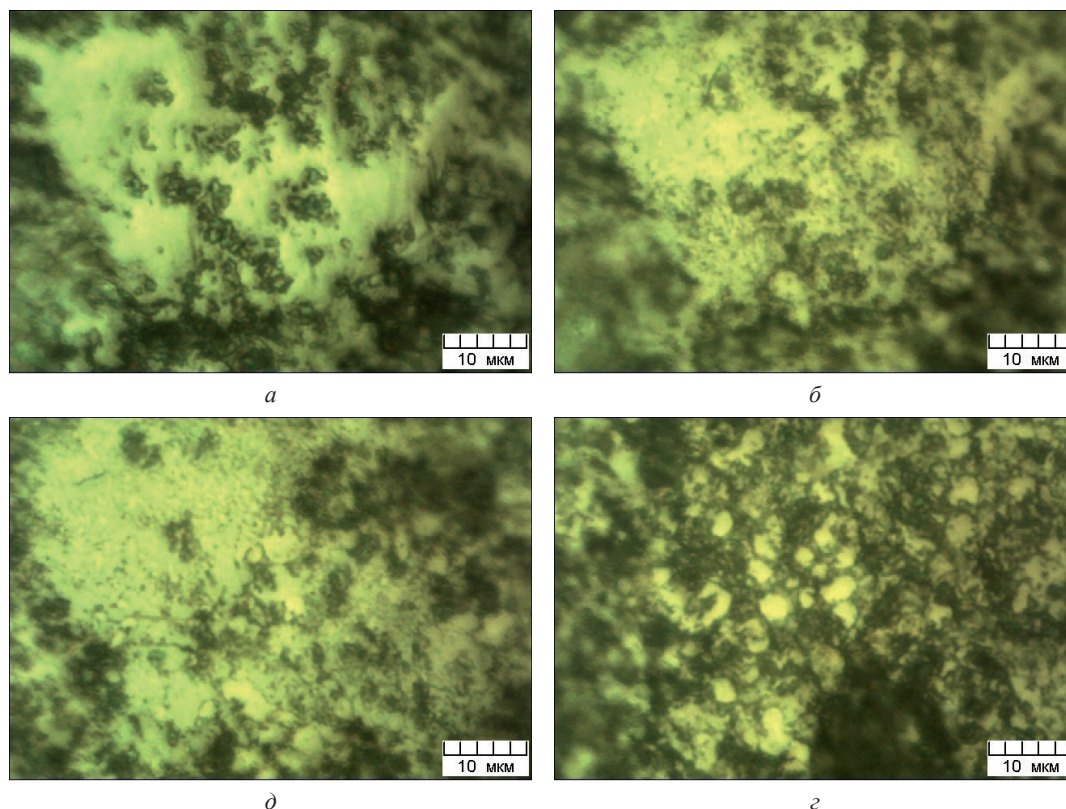


Рис. 8. Микроструктура материала состава Ti–В: а – без травления;  
б, в, г – травление 3, 5, 8 с соответственно; реактив № 10, прицельная металлография

Реактив № 13 (рис. 9, *в*) выявляет границы зерен, но не окрашивает фазы. Кроме того, этот реактив можно использовать только для плотных систем с большим количеством металлизированной компоненты.

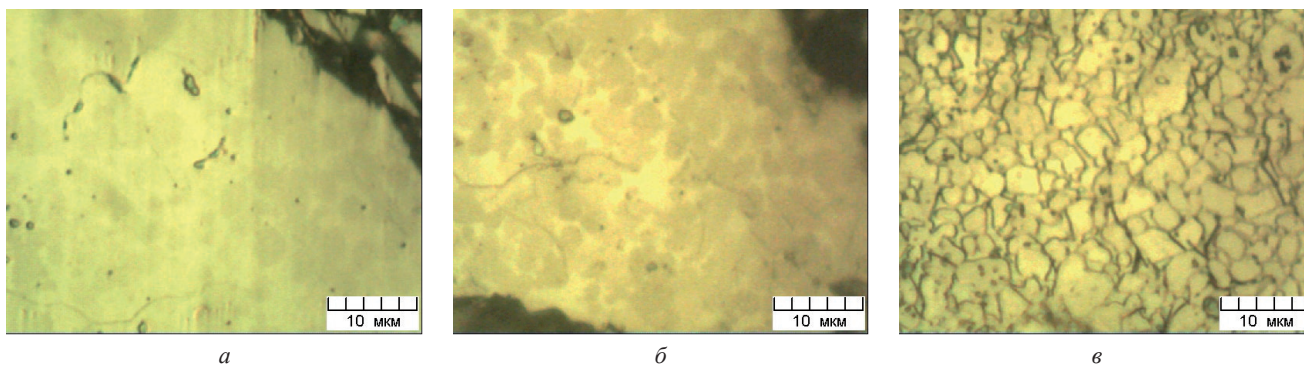


Рис. 9. Структура образцов состава Ti-Si<sub>0,8</sub>, полученных СВС:  
*а, б, в* – травление реактивами № 11, 12, 13 соответственно; прицельная металлография

### Дефекты травления

Достаточно распространенным дефектом травления является перетрав, когда поверхность шлифа окисляется чрезмерно. Это не дает возможности анализировать структуру, а шлиф приходится полировать повторно. На рис. 10, 11 показаны различные варианты травления стали X12 (реактив № 3). Рис. 10, *а* демонстрирует существенный перетрав, видны только карбиды. На рис. 10, *б* присутствует местный перетрав, хорошо наблюдаются карбиды и границы зерен, декорированные карбидной сеткой. Заключительная полировка шлифа проведена плохо и матрица сплава не видна. На рис. 10, *в* травление практически удовлетворительно, видна матрица (мартенсит), карбидная фаза. Рис. 10, *г* показывает наилучший вариант из всех приведенных. Хорошо проявляется матрица, а также структура ледебурита. К недостаткам шлифа можно отнести наличие нерезких участков.

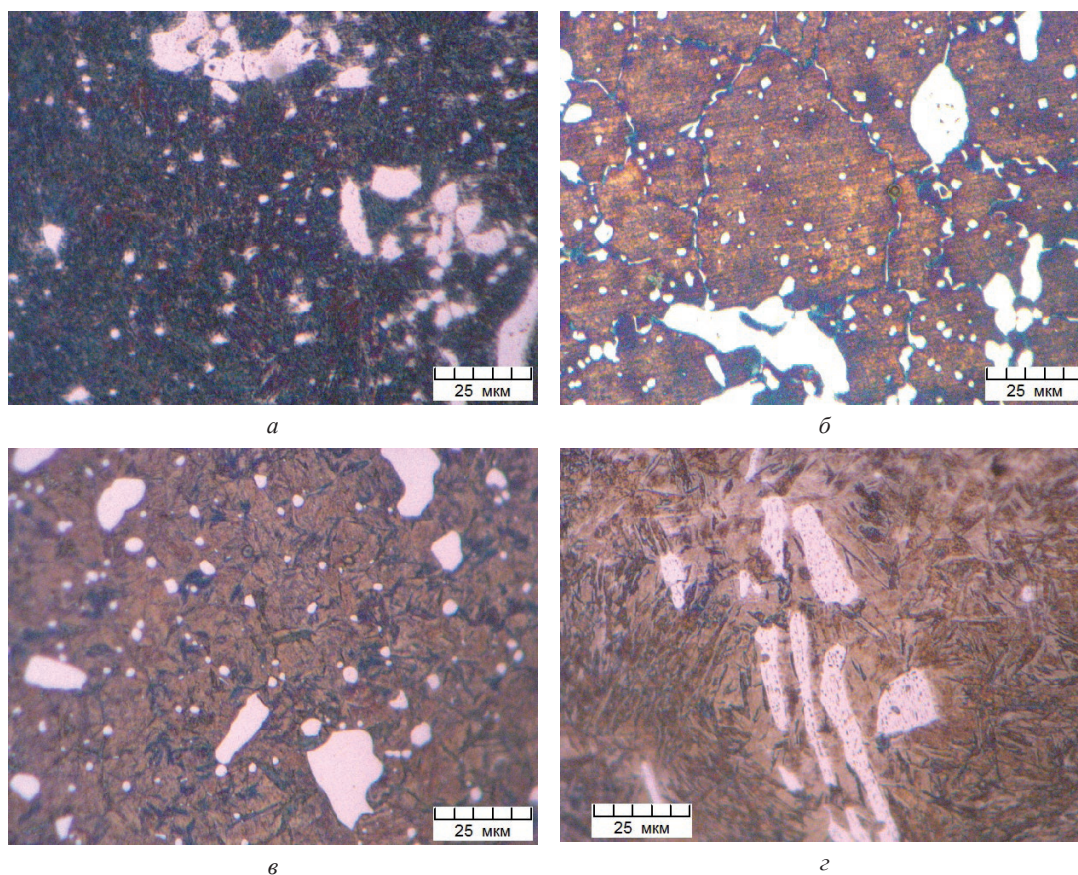


Рис. 10. Структура стали X12: *а* – сильный перетрав;  
*б* – перетрав и плохая полировка; *в* – удовлетворительное травление; *г* – наилучший вариант; реактив № 3

При оценке полосчатости перетрав создается специально для наилучшего выявления карбидной полосы (рис. 11). Непосредственная структура стали при этом неразличима.

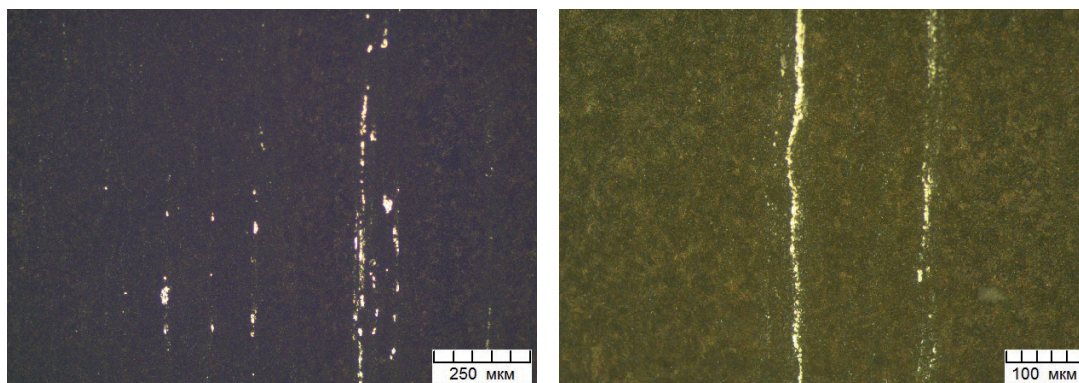


Рис. 11. Шарикоподшипниковая сталь, перетрав

На рис. 12 приведены фотографии одних и тех же участков структуры стали 20ХГНМ при ошибке травления (слева) и результаты правильного травления (справа). Травление произведено ниталем (реактив № 3). При вариантах травления на рис. 12, *а*, *в* не была произведена промывка шлифа после изготовления, на рис. 12, *б*, *г* – переполировка, промывка, сушка и травление.

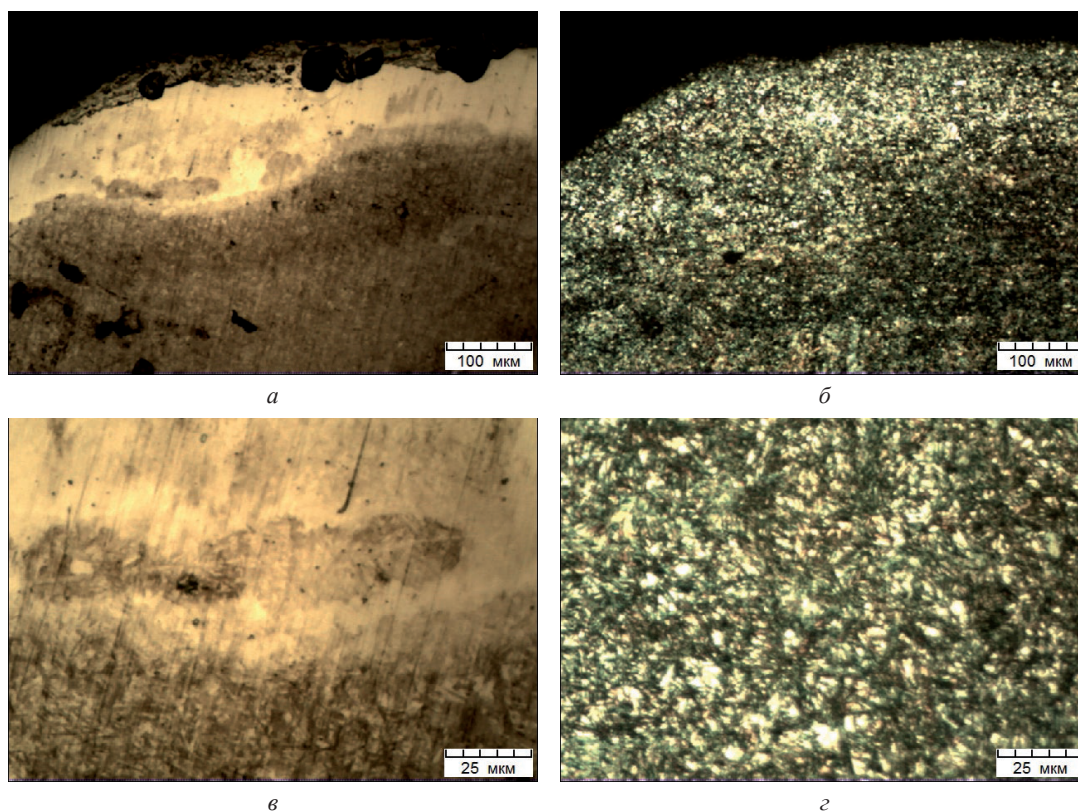


Рис. 12. Результаты травления образца конструкционной стали:  
*а*, *в* – ошибка травления; *б*, *г* – окончательный вариант, реактив № 3, прицельная металлография

Примером перетрава также являются такие дефекты, как цвета побежалости на образце, причем как в пределах одного зерна (рис. 13, *а*), так и по всему образцу (рис. 13, *б*). Хотя такие эффекты более возможны на старых образцах, в данном случае шлифы свежие, сразу после полировки и травления.

Рис. 14 демонстрирует непотрав образцов в силу различных причин: рис. 14, *а* – непотрав в месте оседания пузырьков воздуха на поверхности шлифа при травлении погружением; рис. 14, *б* – непотрав на участках образца за счет плохой промывки шлифа после его изготовления. Структура, выявленная после травления втиранием реактива, показывает наличие включений свинца и дает возможность оценить размер зерна, хотя травление и не идеально (рис. 14, *в*).

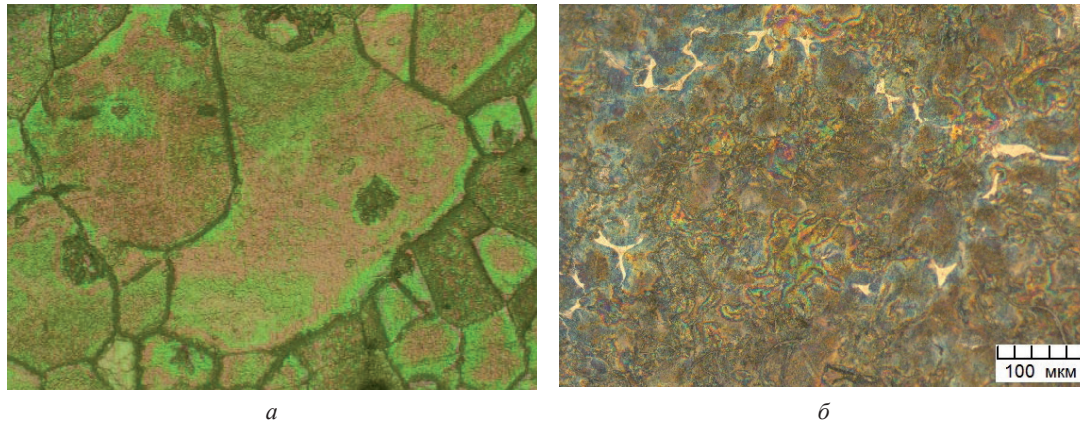
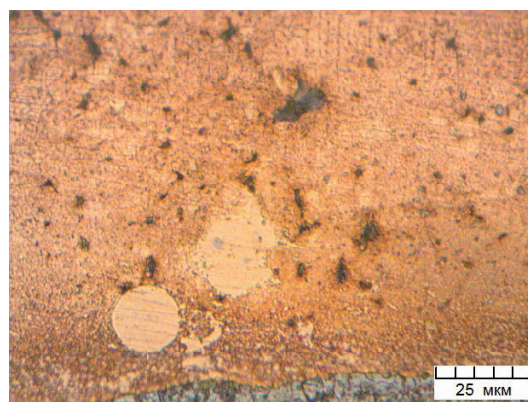
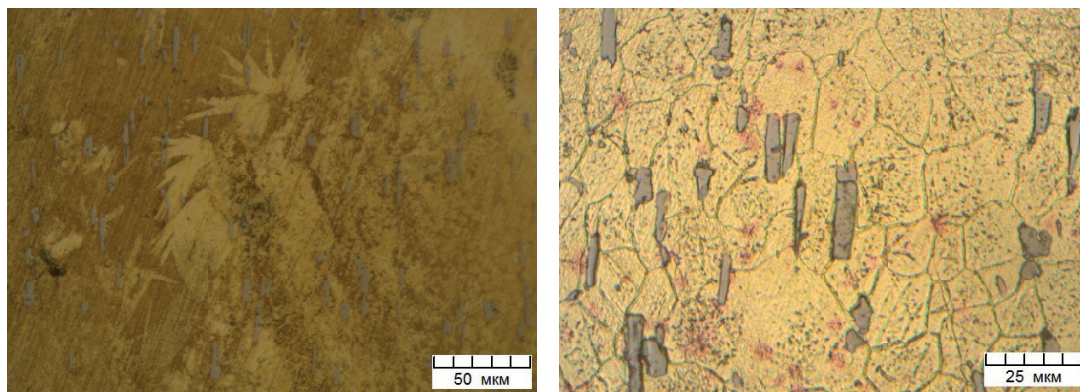


Рис. 13. Цвета побежалости при травлении: *a* – свинец, реактив № 7; *б* – фосфористый чугун, реактив № 3



*a*



*б*

*в*

Рис. 14. Непротравленные участки на поверхности шлифа:  
*a* – медь, непротравленные участки на месте пузырьков воздуха; *б, в* – свинцовая латунь  
(*б* – значительные непотравленные участки; *в* – травление относительно хорошего качества); реактив № 2

Следует упомянуть о металлах, применительно к которым процедура пробоподготовки вообще представляет проблему, в частности, образцы свинца и его сплавов. Шлифы свинца являются трудным объектом в силу их повышенной вязкости. Травление проводили концентрированной уксусной кислотой без промывки (№ 7), так как после промывки водой поверхность образца темнеет. После сушки шлифа фильтровальной бумагой на поверхности фиксируются кристаллы уксусной кислоты (рис. 15, *a*). Сопутствующим также является общее загрязнение поверхности. Удовлетворительная структура свинца приведена на рис. 15, *б*.

Слабоконтрированные растворы также могут оставлять следы на поверхности. Хотя реактив Келлера содержит 95% воды (реактив № 1), при его высыхании остаются следы в виде пленок (рис. 16), которые прекрасно проявляются как в светлопольном (рис. 16, *a*), так и в темнопольном освещении (рис. 16, *б*) [13]; видны как протяженные образования, так и точечная «грязь».

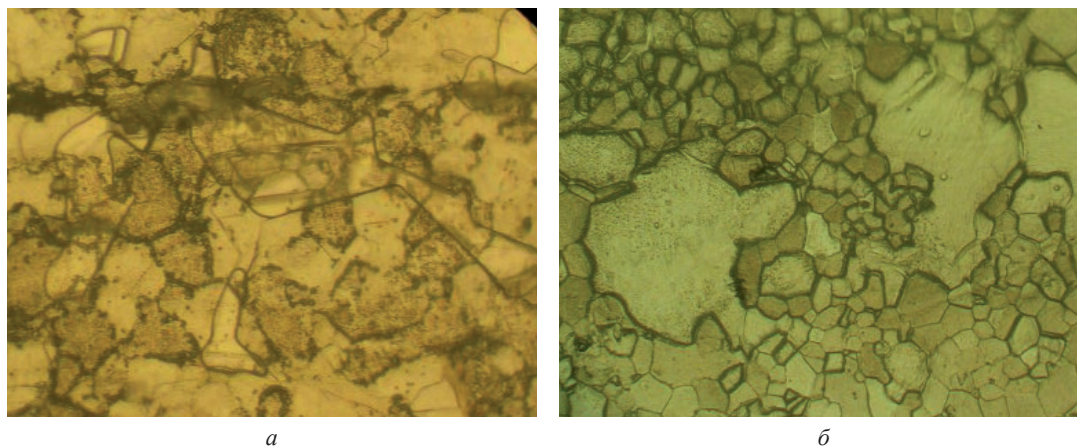


Рис. 15. Структура свинца, полученного скоростной кристаллизацией: *a* – кристаллы уксусной кислоты и общее загрязнение поверхности; *б* – травление удовлетворительного качества, реактив № 7

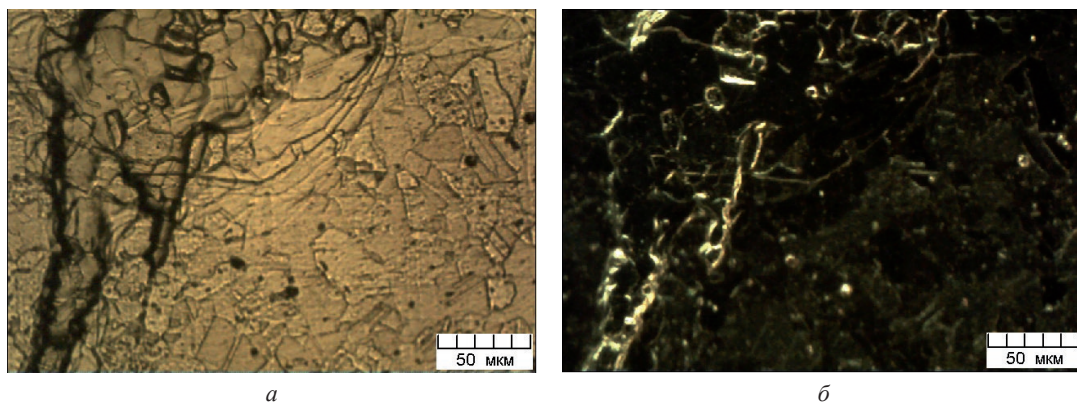


Рис. 16. Следы реактива Келлера на шлифе латуни в светлом (*a*) и темном (*б*) поле, реактив № 1

На рис. 17 представлены результаты промывки шлифа бериллиевой бронзы спиртом (вместо воды) после травления реактивом № 2. На поверхности проявляются протяженные оранжевые кристаллы, вероятно, бихромата калия (рис. 17, *a*), а также границы зерен с фрагментами выделений упрочняющей фазы  $\text{CuBe}_2$ , образовавшейся в процессе прерывистого распада твердого раствора. На рис. 17, *б* приведена структура бронзы после качественного травления. Границы зерен утолщены за счет выделения упрочняющей фазы  $\text{CuBe}_2$ .

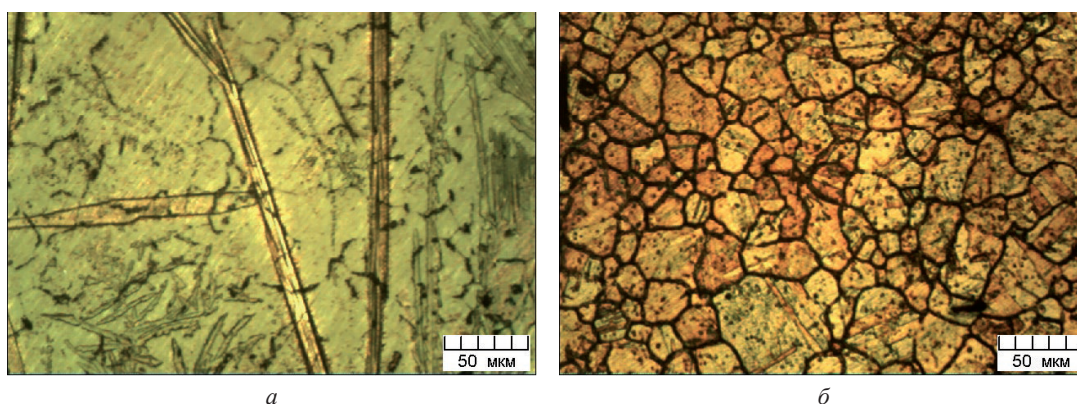


Рис. 17. Кристаллы бихромата калия на образце бериллиевой бронзы БрБ2: *a* – ошибка травления; *б* – правильно протравленный шлиф; реактив № 2

## ЛИТЕРАТУРА

1. Беккерт, М. Справочник по металлографическому травлению / М. Беккерт, Х. Клемм; пер. с нем. – М.: Metallurgia, 1979. – 336 с.

2. Металлографическое травление // Металлография [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://structure.by>. – Дата доступа 30.03.2026.
3. Особенности металлографических исследований структуры литого металла из отходов быстрорежущей стали Р6М5 / А. Л. Валько [и др.] // Литье и металлургия. – 2014. – № 4. – С. 81–87.
4. Коваленко, В. С. Металлографические реактивы: справ. / В. С. Коваленко. – М.: Металлургия, 1970. – 133 с.
5. Зайцева Л. П. Цветная металлография в видимых и ультрафиолетовых лучах / Л. П. Зайцева, Т. Г. Порохова. – М.: Металлургия, 1964. – 169 с.
6. Лаборатория металлографии / Е. В. Панченко [и др.]. – М.: Металлургия, 1965. – 440 с.
7. Анисович, А. Г. Определение плотности куприта при анализе кислородной меди / А. Г. Анисович, Т. П. Урбан, А. С. Буйницкая // Литье и металлургия. – 2015. – № 4. – С. 151–155.
8. Геллер, Ю. А. Материаловедение / Ю. А. Геллер, А. Г. Рахштадт. – М.: Металлургия, 1975. – 448 с.
9. Анисович, А. Г. Артефакты в металлографии: ямки травления / А. Г. Анисович // Литье и металлургия. – 2023. – № 1. – С. 112–117.
10. Анисович, А. Г. Практика металлографического исследования материалов / А. Г. Анисович, И. Н. Румянцева. – Минск: Беларуская навука, 2013. – 221 с.
11. Особенности формирования объемных пористых систем на основе боридов титана при самораспространяющемся высокотемпературном синтезе / В. В. Клубович [и др.] // Перспективные материалы и технологии: материалы Междунар. симп. – Витебск, 2011. – С. 14–17.
12. Клубович, В. В. Формирование объемных пористых систем в процессе самораспространяющегося высокотемпературного синтеза / В. В. Клубович, М. М. Кулак, И. Н. Румянцева // Современные перспективные материалы. – Витебск: ВГТУ, 2011. – Гл. 5. – С. 117–145.
13. Анисович, А. Г. Искусство металлографии: использование методов оптического контрастирования / А. Г. Анисович // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. 2016. – № 1. – С. 36–42.

## REFERENCES

1. Beckert M., Klemm H. *Spravochnik po metallograficheskomu travleniyu* [Handbook of Metallographic Etching]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1979, 336 p.
2. Metallograficheskoe travlenie [Metallographic etching]. *Metallografiya = Metallography* [Electronic resource]. Access mode: <http://structure.by> (accessed 03.30.2026).
3. Valko A. L., Papkovsky P. I., Rudenko S. P., Dudetskaya L. R. Osobennosti metallograficheskikh issledovaniy struktury litogo metalla iz othodov bystrorozhushchej stali R6M5 [Peculiarities of metallographic researches of structure of cast metal from waste of high-speed steel R6M5]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2014, no. 4, pp. 81–87.
4. Kovalenko V. S. *Metallograficheskie reaktivy: sprav.* [Metallographic reagents: reference]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1970, 133 p.
5. Zaitseva L. P., Porokhova T. G. *Cvetnaya metallografiya v vidimyh i ul'trafiioletovykh luchah* [Non-ferrous metallography in visible and ultraviolet rays]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1964, 169 p.
6. Panchenko E. V., Skakov Yu. A., Popov K. V. [et al.] *Laboratoriya metallografii* [Metallography laboratory]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1965, 440 p.
7. Anisovich A. G., Urban T. P., Buynitskaya A. S. Opredelenie plotnosti kuprita pri analize kislorodnoj medi [Determination of cuprite density by analysis of oxygenous copper]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2015, no. 4, pp. 151–155.
8. Geller Yu. A., Rakhstadt A. G. *Materialovedenie* [Materials Science]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1975, 448 p.
9. Anisovich A. G. Artefakty v metallografii: jamki travleniya [Artifacts in metallography: etching pits]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2023, no. 1, pp. 112–117.
10. Anisovich A. G., Rummyantseva I. N. *Praktika metallograficheskogo issledovaniya materialov* [Practice of metallographic study of materials]. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2013, 221 p.
11. Klubovich V. V. [et al.] Osobennosti formirovaniya ob'emnykh poristykh sistem na osnove boridov titana pri samorasprostranyayushchemsya vysokotemperaturnom sinteze [Features of the formation of bulk porous systems based on titanium borides during self-propagating high-temperature synthesis]. *Perspektivnye materialy i tekhnologii: materialy Mezhdunar. simp. = Advanced materials and technologies: Proc. Int. symp.* Vitebsk, 2011, pp. 14–17.
12. Klubovich V. V., Kulak M. M., Rummyantseva I. N. Formirovanie ob'emnykh poristykh sistem v processe samorasprostranyayushchegosya vysokotemperaturnogo sinteza [Formation of volumetric porous systems in the process of self-propagating high-temperature synthesis]. *Sovremennye perspektivnye materialy = Modern promising materials*. Vitebsk, VSTU, 2011, chapter 5, pp. 117–145.
13. Anisovich A. G. *Iskusstvo metallografii: ispol'zovanie metodov opticheskogo kontrastirovaniya* [Art of metallography: use of optical contrasting methods]. *Vesci NAN Belarusi. Ser. fiz.-tjehn. navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Physical-Technical series*, 2016, no. 1, pp. 36–42.