



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2024-4-80-84>  
УДК 543.42

Поступила 30.11.2024  
Received 30.11.2024

## АРТЕФАКТЫ В МЕТАЛЛОГРАФИИ: МЕХАНИЧЕСКИЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ ПРИ ПРОБОПОДГОТОВКЕ. СООБЩЕНИЕ 1. АРТЕФАКТЫ, ВНОСИМЫЕ ОТРЕЗКОЙ

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

*Рассмотрены артефакты металлографической пробоподготовки, возникающие при отрезке заготовок для металлографических образцов с использованием угловой шлифовальной машины, а также плазменной резки. Показано влияние нагрева и оплавления на изменение структуры и фазового состава образцов в зоне реза. Представлены структуры сталей, формирующиеся при неправильной отрезке образцов.*

**Ключевые слова.** Пробоподготовка, отрезка, плазменная резка, зона термического влияния.

**Для цитирования.** Анисович, А. Г. Артефакты в металлографии: механические повреждения при пробоподготовке. Сообщение 1. Артефакты, вносимые отрезкой / А. Г. Анисович // *Литье и металлургия*. 2024. № 4. С. 80–84. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2024-4-80-84>.

## ARTIFACTS IN METALLOGRAPHY: MECHANICAL DAMAGE DURING SAMPLE PREPARATION. PART 1. ARTIFACTS INTRODUCED BY SECTIONING

*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*

*This study examines the artifacts introduced during metallographic sample preparation when using an angle grinder and plasma cutting for sectioning samples. The effects of heating and melting on the structural and phase composition of samples in the cut zone are discussed. The structures of steels that develop as a result of improper sectioning are also presented.*

**Keywords.** Sample preparation, sectioning, plasma cutting, heat-affected zone.

**For citation.** Anisovich A. G. Artifacts in metallography: mechanical damage during sample preparation. Part 1. Artifacts introduced by sectioning. *Foundry production and metallurgy*, 2024, no. 4, pp. 80–84. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2024-4-80-84>.

Пробоподготовка – весьма ответственная часть металлографии, поскольку от ее результатов зависит трактовка полученных данных. Она включает в себя отрезку образца, операции разнообразной шлифовки и полировки, промывки, травления, сушки. На каждом из этих этапов возможно внесение артефактов как малозначительных, так и таких, которые могут принципиально изменить вид поверхности или саму структуру образца. Некоторые проблемы металлографической пробоподготовки изложены в [1–4]. Артефакты, затрагивающие только поверхность образца и не изменяющие структуру, например дефекты полировки или перетрав, возможно устранить переделкой шлифа. К артефактам, существенно и необратимо изменяющим структуру образца, относится операция отрезки, которая может быть связана с существенным нагревом.

В данной статье рассматриваются артефакты металлографических образцов, внесенные отрезкой. Структуры, образовавшиеся в зоне реза, должны быть узнаваемы, поскольку они искажают реальную структуру образца или же полностью изменяют ее. Участвовавшие случаи неграмотной отрезки вызывают необходимость напомнить об этом.

### Материалы и методики

В исследовании использованы стали различных марок. Металлографический анализ проведен на инвертированном металлографическом микроскопе МИ-1с увеличением от 100 до 1000 крат.

### Результаты и их обсуждение

Первым этапом пробоподготовки, как правило, является вырезка нужного участка детали или полуфабриката для исследования. Внесение артефактов возможно уже на этом этапе. Данная операция может кардинально изменить структуру из-за разогрева в зоне реза, если отрезка производится без охлаждения.

На рис. 1 показана зона термического влияния в стали 45 при различных увеличениях. В данном случае конкретная причина ее появления не была установлена, но можно заключить, что это следы локального сильного разогрева.

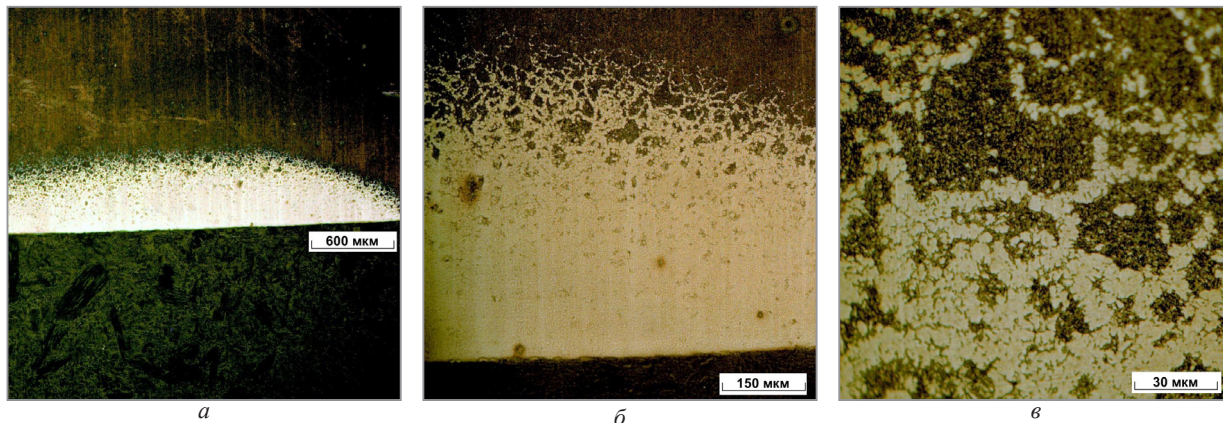


Рис. 1. Зоны термического влияния в образце стали 45 при различных увеличениях

К режущему оборудованию, существенно изменяющему структуру, относится угловая шлифовальная машина, именуемая также болгаркой, которая создает значительный разогрев в зоне реза. На рис. 2–5 представлена структура стали 45 после отрезки болгаркой. В основной части образца структура соответствует стали 45 (рис. 2). Со стороны реза фиксируется участок измененной структуры (рис. 3), в которой можно выделить несколько зон: 1 – неизменная феррито-перлитная структура, соответствующая стали 45, перлит пластинчатый; 2 – феррито-перлитная структура, в которой наблюдаются зерна феррита,

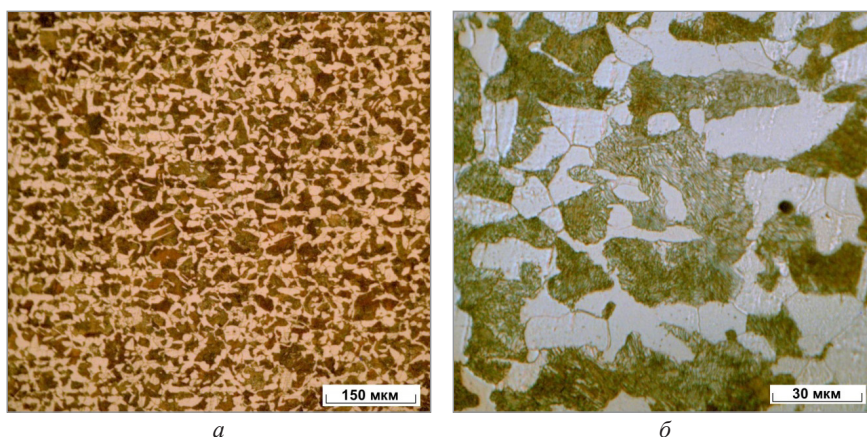


Рис. 2. Структура, соответствующая стали 45

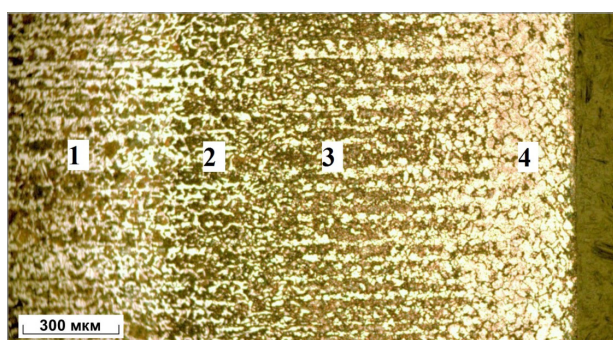


Рис. 3. Участок измененной структуры в стали 45

бейнита и перлит (зернистый); 3 – феррито-перлитная структура, в которой наблюдаются бейнит и перлит; 4 – перлит (возможно высокодисперсный) и бейнит (игольчатый феррит). На рис. 4 показана структура зон 2, 3 и 4 при большем увеличении. Глубина участка структуры, изменившейся под влиянием реза, составляет 1200 мкм. Участок перехода между зонами 1 и 2 отдельно показан на рис. 5.

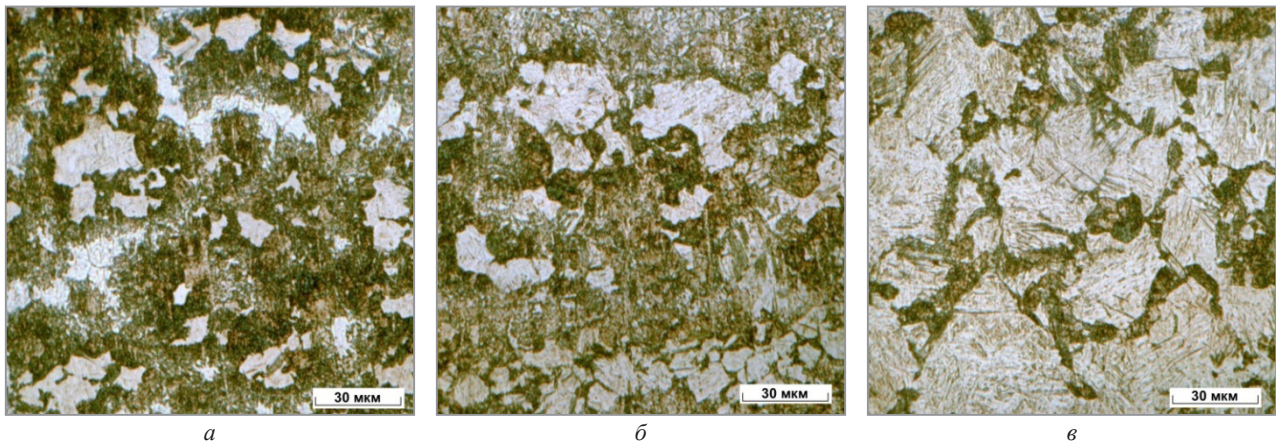


Рис. 4. Структура зон 2, 3 и 4 (а, б, в соответственно); согласно рис. 3

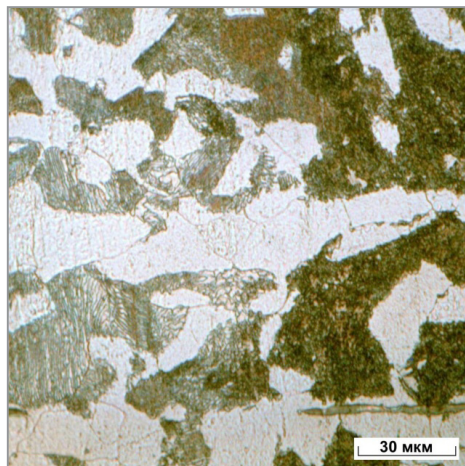


Рис. 5. Участок перехода от зоны 1 к зоне 2 (согласно рис. 3)

Распространенной операцией отрезки является также плазменная резка. После нее в Ст. 3 наблюдается трансформация микроструктуры на глубину порядка 300 мкм (рис. 6, а). При анализе участка термического влияния зафиксировано несколько структурных зон (рис. 6, б–г). Непосредственно вблизи плазменного реза имеется зона глубиной порядка 50–100 мкм (рис. 6, б) тонкодисперсной структуры. Рассмотрение при большем увеличении позволило отнести ее к мартенситу отпуска. Далее следует зона с двухфазной структурой. Ширина зоны составляет порядка 250 мкм, в ней присутствует феррит (рис. 6, в). Светлые достаточно крупные участки структуры с четкими границами принадлежат аустениту. На рис. 6, г показан переход от аустенитно-ферритной структуры к структуре исходной стали (феррит + перлит).

Отпечатки микротвердости 1, 2, 3 (рис. 7) находятся в участках со структурой, твердость которой колеблется в пределах 3000–3500 ГПа. Данные значения отвечают микроструктуре троостита или мартенсита отпуска. Микротвердость, определенная по отпечаткам 4 и 5, составляет 2254 ГПа, что соответствует ферриту. Рентгеноструктурным анализом на поверхности плазменного реза обнаружены фазы:  $\alpha$ -Fe (мартенсит);  $\gamma$ -Fe;  $Fe_3C$ .

После плазменной резки стали 12X18H10T (рис. 8, а) на поперечном шлифе наблюдали слой литой структуры толщиной до 100 мкм. При большом увеличении можно фиксировать зоны равноосного зерна и столбчатых кристаллов. Можно отметить аналогию формирования структуры при плазменной резке с процессом скоростной кристаллизации фольг (рис. 8, б).

Образцы после такой отрезки могут быть использованы в исследовательских или производственных целях только после удаления участка измененной структуры.

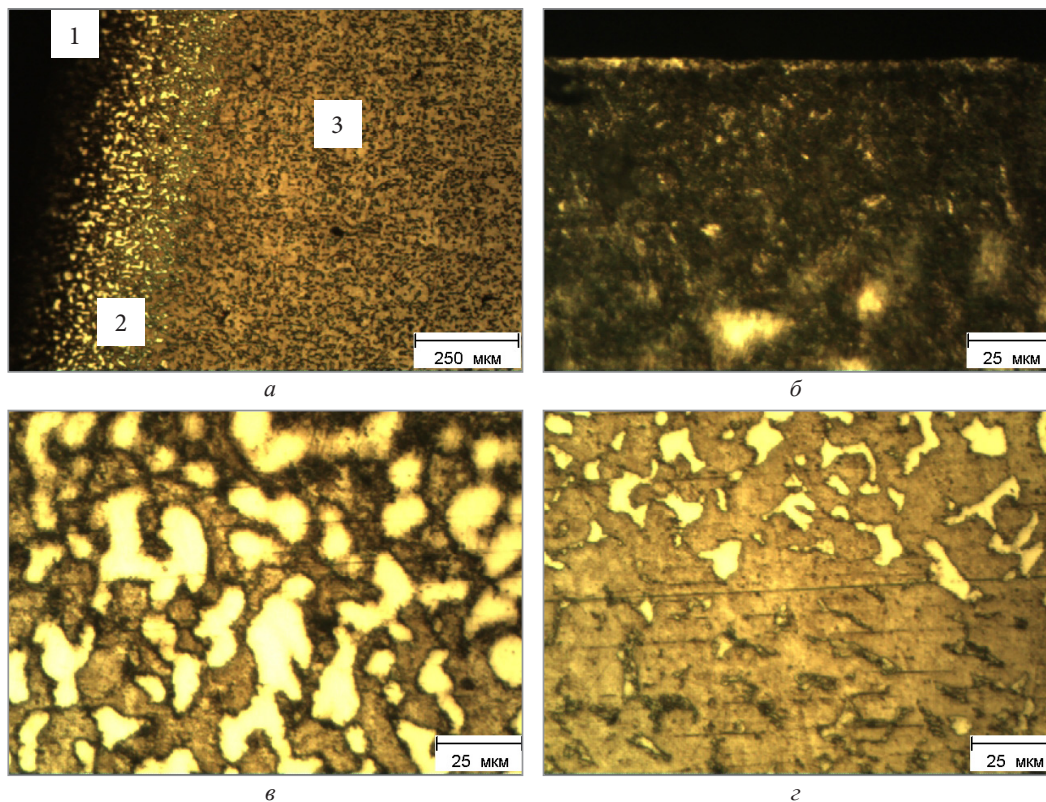


Рис. 6. Структура Ст. 3 после плазменной резки: *а* – зона трансформированной микроструктуры; *б* – зона 1 (мартенсит); *в* – зона 2 (аустенит, феррит); *г* – переходная часть к основному металлу

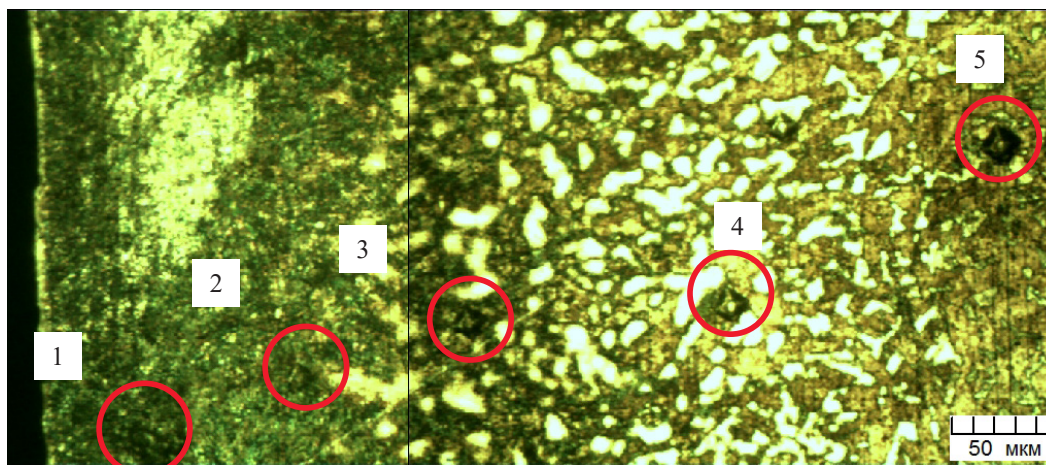


Рис. 7. Панорама микроструктуры с отпечатками индентора микротвердомера

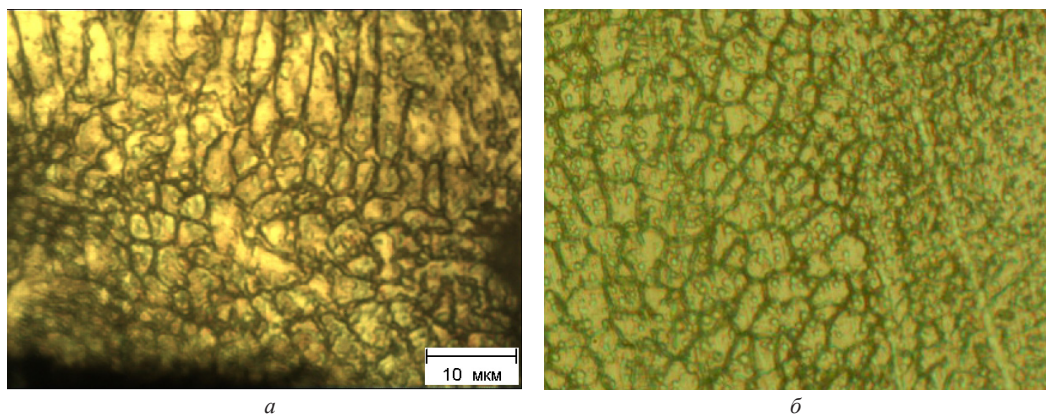


Рис. 8. Структура оплавления на кромке образца стали 12X18N10T после плазменной резки (*а*) и структура быстро закристаллизованной фольги сплава на основе алюминия (*б*)

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Анисович, А.Г.** Артефакты в металлографии: пыль / А.Г. Анисович // Литье и металлургия. – 2020. – № 3. – С. 93–98.
2. **Анисович, А.Г.** Артефакты в металлографии: нитки и волокна / А.Г. Анисович, М.И. Маркевич // Литье и металлургия. – 2022. – № 2. – С. 91–96.
3. **Анисович, А.Г.** Артефакты в металлографии: ямки травления / А.Г. Анисович // Литье и металлургия. – 2023. – № 1. – С. 112–117.
4. **Анисович, А.Г.** Артефакты в металлографии: пятна на поверхности шлифов / А.Г. Анисович // Литейщик России. – 2024. – № 3. – С. 37–43.

## REFERENCES

1. **Anisovich A. G.** Artefakty v metallografii: pyl' [Artifacts in metallography: dust]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2020, no. 3, pp. 93–98.
2. **Anisovich A. G., Markevich M. I.** Artefakty v metallografii: nitki i volokna [Artifacts in metallography: threads and fibers]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2022, no. 2, pp. 91–96.
3. **Anisovich A. G.** Artefakty v metallografii: yamki travleniya [Artifacts in metallography: etching pits]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2023, no. 1, pp. 112–117.
4. **Anisovich A. G.** Artefakty v metallografii: pyatna na poverhnosti shlifov [Artifacts in metallography: spots on the surface of polished sections]. *Liteyshchik Rossii = Foundry worker of Russia*, 2024, no. 3, pp. 37–43.