## ЛИТЕРАТУРА


1. Цифровая экономика, умные инновации и технологии: сб. тр. Национальной (Всероссийской) науч.-практ. конф. с зарубежным участием, 18–20 апреля 2021 г., Санкт-Петербург. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2021. – 657 с.
2. Основные направления развития отечественной металлургии в разрезе мировых тенденций / Н. И. Анелькин, А. В. Мансевич, А. В. Карманович [и др.] // Литье и металлургия. – 2023. – № 2. – С. 31–44.
3. Становление и развитие ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», или Белорусскому металлургическому заводу – 40 лет: современный взгляд в прошлое, настоящее и будущее / С. А. Мозгов, Н. И. Анелькин, А. В. Мансевич [и др.] // Литье и металлургия. – 2024. – № 4. – С. 33–46.
4. Исследование: Шестой технологический уклад. Циклы Кондратьева. – URL: http://irsepi.ru/shestoj-tekhnologicheskij-uklad/?ysclid=lgdblr6u79857020339 (дата обращения 06.08.2025).
5. **Полеванов, В. П.** XXI век: новые технологии и полезные ископаемые // Проектирование будущего. Проблемы цифровой реальности: тр. 7-й Междунар. конф. (15–17 февраля 2024 г., Москва). – М.: ИПМ им. М. В. Келдыша, 2024. – С. 180–192.
6. Концепция национальной стратегии устойчивого развития Республики Беларусь на период до 2035 года. – URL: https://economy.gov.by/uploads/files/ObsugdaemNPA/Kontseptsija-na-sajt.pdf (дата обращения: 04.08.2025).
7. **Головенчик, Г. Г.** Цифровая экономика / Г. Г. Головенчик, М. М. Ковалев. – Минск: Изд. Центр БГУ, 2019. – 395 с.
8. Стратегию формирования единого информпространства мы должны представить до конца года. – URL: https://belta.by/society/view/glazjev-strategiju-formirovanija-edinogo-informprostranstva-my-dolzhny-predstavit-do-kontsa-goda-725775–2025/ (дата обращения: 12.07.2025).
9. **Лазаревич, А. А.** Цифровая эпоха и контуры новой социотехнологической реальности / А. А. Лазаревич // Наука и инновации. – 2023. – № 4. – С. 5–8.
10. **Маркова, В. Д.** Цифровая экономика / В. Д. Маркова. – М.: ИНФРА-М, 2024. – 186 с.


## REFERENCES


1. Cifrovaja jekonomika, umnye innovacii i tehnologii [Digital Economy, Smart Innovations, and Technologies]. Sbornik trudov Nacional'noj (Vserossijskoj) nauchno-prakticheskoj konferencii s zarubezhnym uchastiem, 18–20 aprelja 2021 g., Sankt-Peterburg [Proceedings of the National (All-Russian) Scientific and Practical Conference with International Participation, April 18–20, 2021, St. Petersburg]. Sankt-Peterburg, POLITEH-PRESS Publ., 2021, 657 p.
2. **Anel'kin N. I., Mancevich A. V., Karmanovich A. V., Mozgov S. A.** Osnovnye napravlenija razvitija otechestvennoj metallurgii v razreze mirovyh tendencij [The main directions of development of domestic metallurgy in the context of global trends]. *Lit'je i metallurgija = Foundry production and metallurgy,* 2023, no. 2, pp. 31–44.
3. **Mozgov S. A., Anel'kin N. I., Mancevich A. V., Vojtehovskij D. G.** Stanovlenie i razvitie OAO «BMZ – upravljajushhaja kompanija holdinga «BMK», ili Belorusskomu metallurgicheskomu zavodu – 40 let: sovremennyj vzgljad v proshloe, nastojashhee i budushhee [The formation and development of OJSC "BSW – Management Company of Holding "BMC", or the Belarusian Metallurgical Plant – 40 years: a modern look at the past, present and future]. *Lit'je i metallurgija = Foundry production and metallurgy,* 2024, no. 4, pp. 33–46.
4. http://irsepi.ru/shestoj-tekhnologicheskij-uklad/?ysclid=lgdblr6u79857020339.
5. **Polevanov V. P.** XXI vek: novye tehnologii i poleznye iskopaemye [21st Century: New Technologies and Minerals]. *Proektirovanie budushhego. Problemy cifrovoj real'nosti: trudy 7-j Mezhdunarodnoj konferencii, 15–17 fevralja 2024 g., Moskva = Designing the Future. Challenges of Digital Reality: Proceedings of the 7th International Conference (February 15–17, 2024, Moscow)*. Moscow, IPM im. M. V. Keldysha Publ., 2024, pp. 180–192.
6. https://economy.gov.by/uploads/files/ObsugdaemNPA/Kontseptsija-na-sajt.pdf
7. **Golovenchik G. G., Kovalev M. M.** *Cifrovaja jekonomika* [Digital economy]. Minsk, Izd. Centr BGU Publ., 2019, 395 p.
8. https://belta.by/society/view/glazjev-strategiju-formirovanija-edinogo-informprostranstva-my-dolzhny-predstavit-do-kontsa-goda-725775–2025/
9. **Lazarevich A. A.** Cifrovaja jepoha i kontury novoj sociotehnologicheskoj real'nosti [The Digital Age and the Contours of a New Sociotechnological Reality]. *Nauka i innovacii = Science and Innovation,* 2023, no. 4, pp. 5–8.
10. **Markova V. D.** *Cifrovaja jekonomika* [Digital Economy]. Moscow, INFRA-M Publ., 2024, 186 p.

МЕТАЛЛУРГИЯ

УДК 669

# ОСОБЕННОСТИ ПРОБОПОДГОТОВКИ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ОБРАЗЦОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

*О. В. СОЛОВЬЕВА, А. А. САХАРНАЯ, И. В. БОРИСОВЕЦ. ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Гомельская обл., Беларусь, ул. Промышленная 37.*
*E-mail: nmg.plus@bmz.gomel.by. Тел.: +375 2334 55077*

*Основой пробоподготовки твердосплавных образцов для металлографического анализа является удаление дефектного слоя материала (шлифование), снятие всех деформаций и царапин (полирование) с помощью абразивов различной зернистости и полировальных сукон. Разного рода дефекты металлографического шлифа могут привести к ошибке при оценке характеристик твердого сплава. Для металлографического анализа главное – это создание качественной поверхности исследуемых образцов без дефектов, возникающих при пробоподготовке. В статье описаны основные этапы пробоподготовки твердосплавных образцов, дефекты пробоподготовки и их влияние на металлографический анализ.*

***Ключевые слова.*** *Пробоподготовка, шлифование, полирование, металлографический шлиф, твердосплавная волока-заготовка, твердость, пористость.*

# FEATURES OF PREPARATION OF HARD ALLOY SAMPLES FOR METALLOGRAPHIC ANALYSIS

*O. V. SOLOVYOVA, A. A. SAKHARNAYA, I. V. BORISOVETS, OJSC "BSW – Management Company of Holding "BMC", Zhlobin, Gomel Region, Belarus, 37, Promyshlennaya str.*
*E-mail: nmg.plus@bmz.gomel.by. Tel.: +375 2334 55077*

*The basis for preparing hard alloy samples for metallographic analysis is the removal of defective layer of material (grinding), removal of all deformations and scratches (polishing) using abrasives of various grain sizes and polishing cloths. Various types of defects in metallographic sections can lead to errors in assessing characteristics of hard alloy. For metallographic analysis it is very important to obtain high-quality surface of the test specimens, free of defects that arise during sample preparation. This article describes key stages of sample preparation for hard alloy specimens, sample preparation defects, and their impact on metallographic analysis.*

***Keywords.*** *Preparation of samples, grinding, polishing, metallographic section, carbide die blank, hardness, porosity.*

## Введение

Качество подготовки поверхности твердосплавных образцов должно обеспечивать правильную оценку структуры материала, в которой не было бы места неточностям, поэтому первым этапом любого металлографического исследования является пробоподготовка с получением образца с зеркальной поверхностью*. Исследование твердосплавных образцов без дополнительных приспособлений и определенных навыков не представляется возможным. Твердосплавные образцы помещают в термореактивную смолу, что позволяет удерживать их при шлифовании и полировании. Опыт в подготовке металлографического шлифа позволяет минимизировать его завал. Вследствие плохой очистки металлографического шлифа на различных этапах шлифования/полирования, использования сукна, недостаточной просушки после его изготовления, травления, а также при контакте с рабочими материалами (вата, алмазный порошок, смола и др.) на поверхности образцов остаются остатки абразива, разные пятна, царапины. Возможными дефектами металлографического шлифа являются выбоины, смазывание (характерные для сплавов с небольшой твердостью), трещины (возникают при излишнем давлении запрессовки), ложная пористость и др.

* ASTM E 3–11. Стандартное руководство по подготовке образцов для металлографического контроля, 2017.

### Основные этапы и особенности пробоподготовки твердосплавных образцов

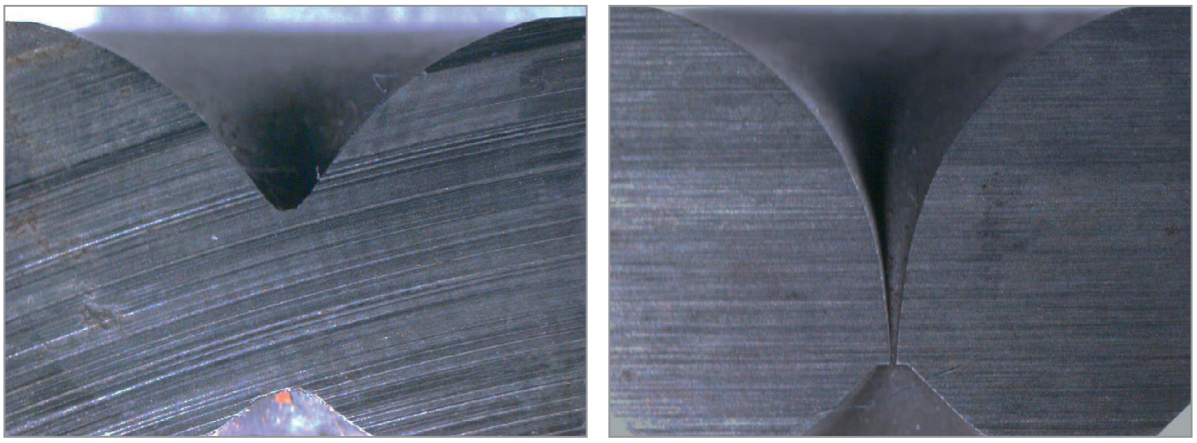
К основным этапам пробоподготовки относятся монтирование твердосплавных образцов в смолу, шлифование и полирование.

Для изготовления металлографического шлифа рекомендуется использовать мелкогранулированные (порошкообразные) смолы высокой твердости с содержанием минерального наполнителя, обеспечивающие отсутствие углублений и пор на границе раздела смола-образец, а в процессе шлифования/полирования – одновременное равномерное удаление материала твердосплавного образца и смолы.

Шлифование – удаление дефектного слоя материала с использованием чугунного диска и алмазного порошка фракцией от 7 до 10 мкм до достижения требуемого результата [1]. В качестве охлаждающей жидкости используется проточная вода. Полирование включает в себя последние шаги процесса подготовки. На начальном этапе полирования используется алмазный порошок фракцией 2–5 мкм, при окончательном полировании – алмазный порошок фракцией 1–2 мкм, а также сукна с различной степенью упругости: высокой – для твердых сплавов твердостью до 1000 HV30, низкой – для твердых сплавов твердостью свыше 1000 HV30. В качестве смазывающе-охлаждающей жидкости используется лубрикант специального состава или спирт этиловый технический. После каждой ступени шлифования/полирования поверхность твердосплавных образцов тщательно очищается с помощью проточной воды, моющего средства и ваты во избежание переноса абразива, загрязнений и следов с предыдущего этапа шлифования/полирования и сушится с помощью бытового фена.

### Подготовка твердосплавных волок-заготовок для металлографического исследования

Перед изготовлением металлографического шлифа волоки-заготовки (далее –твердосплавные образцы) зашлифовывают в продольном направлении до открытия зоны рабочего канала (рис. 1). Этот этап проводят с помощью плоскошлифовального станка 3Д711ВФ11 и алмазного круга зернистостью 160/200 мкм.



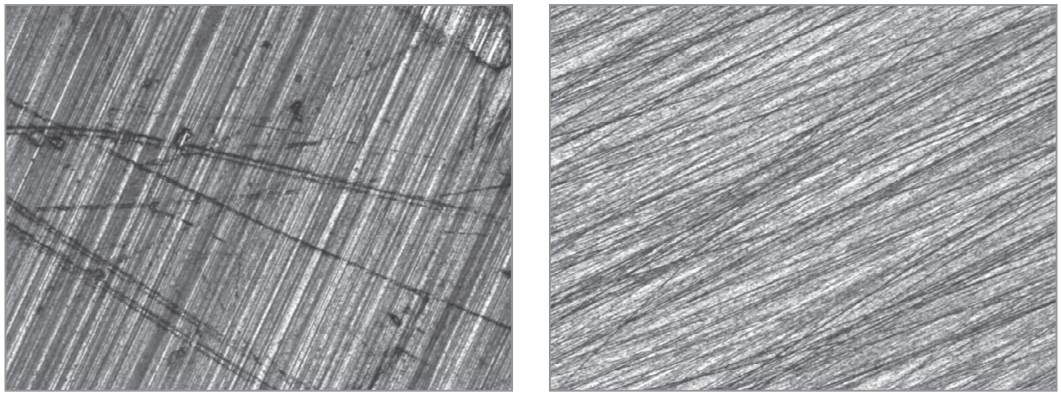
*а* *б*

Рис. 1. Вид сечения образца твердосплавной волоки-заготовки после подготовки на плоскошлифовальном станке: *а* – неправильно; *б* – правильно. ×10

При подготовке металлографического шлифа с твердосплавными образцами для получения качественной зеркальной поверхности без дефектов следует учитывать сложность обработки, обусловленную высокой твердостью образцов (до 2100 HV30) [2]. Важным является процесс шлифования как первоначальный этап, который влияет на точность дальнейших исследований. В процессе полирования необходимо учесть риск появления такого дефекта, как «ложная пористость», которая может повлиять на неверную оценку результатов металлографического анализа.

### Металлографическое исследование твердосплавных образцов

На рис. 2 показан вид поверхности образца твердосплавной волоки-заготовки в металлографическом шлифе после подготовки на плоскошлифовальном станке (рис. 2, *а*) и шлифования в два этапа (рис. 2, *б*). После первого этапа шлифования поверхностные риски приобретают однонаправленность, уменьшается их глубина. После второго этапа шлифования поверхность твердосплавных образцов приобретает матовость, это обусловливается наличием большого количества мелких рисок.



*а* *б*

Рис. 2. Вид поверхности образца волоки-заготовки в микрошлифе: *а* – после подготовки на плоскошлифовальном станке; *б* – после шлифования с применением алмазного порошка АСН 10/7 (1-й этап) и АСН 7/3 (2-й этап). ×100

Важным параметром качества твердого сплава волок-заготовок является пористость, которая оказывает существенное влияние на качество изготавливаемого волочильного инструмента. На рис. 3 показан вид поверхности образца волоки-заготовки в металлографическом шлифе, полученной после разной продолжительности полирования. В процессе непродолжительного времени полирования появление зеркального блеска на образцах не гарантирует проявление истинной структуры (рис. 3, *а*).

*а* *б*

Рис. 3. Вид поверхности образца твердосплавной волоки-заготовки после полирования с применением алмазного порошка АСМ 2/1: *а* – полирование в течение 1 мин (зеркальный блеск, риски, повышенная пористость); *б* – полирование в течение 4–5 мин (отсутствие дефектов полирования). ×100

При более длительном времени полирования может возникнуть дефект «ложная пористость». Появление данного дефекта изготовления шлифа обусловлено наличием связующей фазы в виде кобальта, обладающего более низкой твердостью, чем карбид вольфрама. При длительном времени полирования происходит частичное удаление кобальта и внедрение на его место абразива, что и является «ложной пористостью».

При измерении твердости по Виккерсу поверхность твердосплавного образца должна обеспечивать точное измерение длины диагоналей отпечатков, поверхность должна быть плоской и гладкой. Согласно методу испытаний, измерения проводят перпендикулярно поверхности, что обеспечивается параллельностью поверхностей металлографического шлифа, т.е. правильной пробоподготовкой. При отсутствии перпендикулярности возникает значительное расхождение в результатах измерений из-за отпечатка неправильной формы (рис. 4).

Правильно подготовленный металлографический шлиф является базовой основой при проведении дальнейшего анализа твердого сплава твердосплавных образцов: определение трещин, единичных пор, свободного углерода, распределения β-фазы, размера зерна α-фазы (рис. 5, *а*), наличия фазы типа η (рис. 5, *б*).

Таким образом, на процесс выявления истинной структуры твердого сплава твердосплавных образцов влияют материалы для изготовления металлографического шлифа, материалы для шлифования и полирования, этапы шлифования, время полирования, а также опыт и знания персонала в работе с твердым сплавом.