



УДК 669.017:620.1; 669.017:620.1.05
DOI: 10.21122/1683-6065-2019-2-117-121

Поступила 03.05.2019
Received 03.05.2019

ИЗМЕРЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО РЕЛЬЕФА НА МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИХ МИКРОСКОПАХ ПРОИЗВОДСТВА ОАО «ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ»

А. Г. АНИСОВИЧ, А. С. БУЙНИЦКАЯ, ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси»,
г. Минск, Беларусь, ул. Купревича, 10. E-mail: anna_anisovich@yandex.ru

Проиллюстрированы возможности измерения глубины рельефа поверхности на металлографических микроскопах производства ОАО «Оптоэлектронные системы». Для микроскопов МИ-1 и МИКРО-200 рассматривается методика определения высоты рельефа, в основу которой положена связь между углом поворота барабана настройки точной фокусировки и вертикальным перемещением предметного столика. Приводятся примеры измерения глубины кратеров после воздействия лазерного излучения на металлическую поверхность. Для микроскопов МИ-1 и МИКРО-200 глубина лунки была определена как 99,36 и 99,8 мкм соответственно, что согласуется с данными профилометра (~100 мкм). Для плоскопараллельной кварцевой пластинки результаты измерений составили 0,435 мкм при определении микроскопически, а также объект-микрометром. Рассматривается возможность определения толщины покрытий нитрида титана методом дифференциально-интерференционного контраста. Метод позволяет определение толщины по разности интерференционных цветов, если участки изображения находятся на различной высоте. Оценить толщину покрытия можно с использованием номограммы двойного лучепреломления.

Ключевые слова. Рельеф поверхности, металлографический микроскоп, дифференциально-интерференционный контраст, нитрид титана.

Для цитирования. Анисович, А. Г. Измерение вертикального рельефа на металлографических микроскопах производства ОАО «Оптоэлектронные системы» / А. Г. Анисович, А. С. Буйницкая // Литье и металлургия. 2019. № 2. С. 117–121. DOI: 10.21122/1683-6065-2019-2-117-121.

THE MEASUREMENT OF THE VERTICAL RELIEF ON METAL-GRAPHIC MICROSCOPES OF PRODUCTION OF OJSC «OPTOELECTRONIC SYSTEMS»

A. G. ANISOVICH, A. S. BUINITSKAYA, Physical-Technical Institute of National Academy of Sciences of
Belarus, Minsk, Belarus, 10, Kuprevich str. E-mail: anna_anisovich@yandex.ru

The possibilities of measuring the depth of the surface relief on metallographic microscopes manufactured by OJSC «Optoelectronic systems» are illustrated. For the microscopes MI-1 and MICRO-200 a technique for determining the height of the relief is considered, which is based on the relationship between the angle of rotation of the drum tincture of precise focus and vertical movement of the object table. Examples of crater depth measurements after exposure to laser radiation on a metal surface are given. For MI-1 and MICRO-200 microscopes, the depth of the well was determined as 99.36 and 99.8 μm , respectively, which is consistent with the profilometer data (~100 μm). For a plane-parallel quartz plate, the measurement results were 0.435 μm when determined microscopically, as well as the object-micrometer. The possibility of determining the thickness of titanium nitride coatings by differential interference contrast is considered. The method allows the determination of the thickness of the difference in interference colors, if the image areas are at different heights. The thickness of the coating can be estimated using a nomogram of double refraction.

Keywords. Surface relief, metallurgical microscope, differential-interferential contrast, titanium nitride.

For citation. Anisovich A. G., Buinitskaya A. S. The measurement of the vertical relief on metal-graphic microscopes of production of OJSC «Optoelectronic systems». Foundry production and metallurgy, 2019, no. 2, pp. 117–121. DOI: 10.21122/1683-6065-2019-2-117-121.

В настоящее время задача измерения и визуализации рельефа поверхности объектов (металлов, неметаллических объектов, микросхем) является чрезвычайно актуальной в различных областях науки и промышленности.

В качестве примера необходимости использования подобных методов можно привести [1], где проведено исследование рельефа поверхности сплава Fe–Si и тугоплавких металлов (вольфрама и молибдена) после воздействия лазерного излучения. Результаты измерений использованы для исследования процесса термокапиллярной неустойчивости, изучения объемных колебаний ванны расплава в центральной части кратера.

Существует несколько основных методик измерения и визуализации рельефа поверхности: поверхностная профилометрия, зондовая сканирующая микроскопия, растровая электронная и оптическая конфокальная микроскопии [2]. Развиваются также методы реконструкции рельефа поверхности с помощью «классического» оптического микроскопа. Это методы стереомикроскопии и методы определения высоты поверхности по фокусу. Методы, использующие «классический» микроскоп, существенно дешевле аналогов. По характеристикам они могут конкурировать с современной конфокальной микроскопией в области размеров выше 100 нм.

Простейшее оптическое измерение высоты рельефа предполагает измерение высоты при изменении наведения изображения на резкость при использовании обычного освещения по методу светлого поля. Другим методом является дифференциальная интерференционно-контрастная микроскопия (или микроскопия Номарского) [3]. Метод использует явление интерференции поляризованного света.

Цель данной статьи – информировать читателя о возможностях металлографических микроскопов отечественного производства.

В основу микроскопического метода определения высоты рельефа положена связь между углом поворота барабана настройки точной фокусировки и вертикальным перемещением предметного столика в соответствии с паспортами микроскопов МИ-1 и МИКРО-200.

Для измерения необходимо выполнить следующие процедуры. На предметный столик установить исследуемый образец. Навести резкость на верхнюю поверхность измеряемого объекта. Отметить положение микровинта тонкой фокусировки по делениям, которые на нем имеются, относительно маркера на барабане грубой настройки. Навести резкость на нижнюю поверхность измеряемого объекта. Отметить положение микровинта тонкой фокусировки. Определить разность отсчетов барабана n (в количестве делений).

Один оборот барабана винта точной настройки составляет 360° (рис. 1). Винт точной настройки имеет 100 делений. Таким образом, цена одного деления барабана составляет $3,6^\circ$. Относительная высота участков образца ΔH определяется по формуле:

$$\Delta H = ncf, \text{ мкм,}$$

где n – разность отсчетов барабана, количество делений; c – цена одного деления барабана, град; f – чувствительность механизма тонкой фокусировки микроскопа, мкм/град.

Величина f определяется индивидуально для каждого микроскопа. В нашем случае величина f составляет: для МИ-1 – 0,20 мкм/град; для МИКРО-200 – 0,14 мкм/град.

Ниже приведены примеры определения глубины. Измерение лунки, оставленной лазерным лучом на металлической поверхности, проведено при помощи микроскопов МИ-1 и МИКРО-200. На рис. 2 показано наведение на резкость на поверхность образца (рис. 2, а) и дно лунки (рис. 2, б). Относительная высота участков образца ΔH составляет 99,36 мкм.

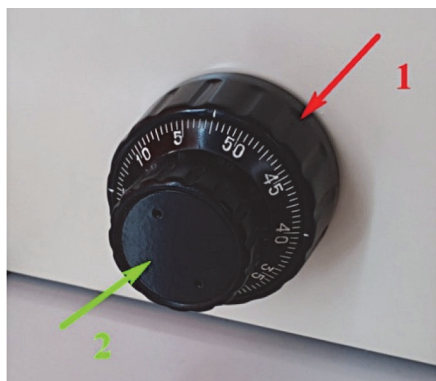


Рис. 1. Рукоятка фокусировки микроскопов МИКРО-200 и МИ-1: 1 – винт грубой настройки, 2 – винт точной настройки

Наведение резкости на поверхность того же образца на микроскопе МИКРО-200 показано на рис. 3. Относительная высота участков образца ΔH составляет 98,8 мкм.

Проверка глубины лунки на профилометре показала следующее. По профилограмме глубина лунки составляет 87,5 мкм (рис. 4, а). По распределению глубины по поверхности минимальная точка составляет 100 мкм (рис. 4, б).

Для проверки методики была выбрана пластинка кварца размером $60 \times 20 \times 0,4$ мм. При определении с помощью микрометра толщина пластинки составила 0,43 мм. Пластинки были положены одна на другую согласно схеме на рис. 5. Измерение проводили на микроскопе МИКРО-200 на участке, указанном стрелкой. Резкость наводилась сначала на поверхность верхней пластинки, потом – на поверхность нижней.

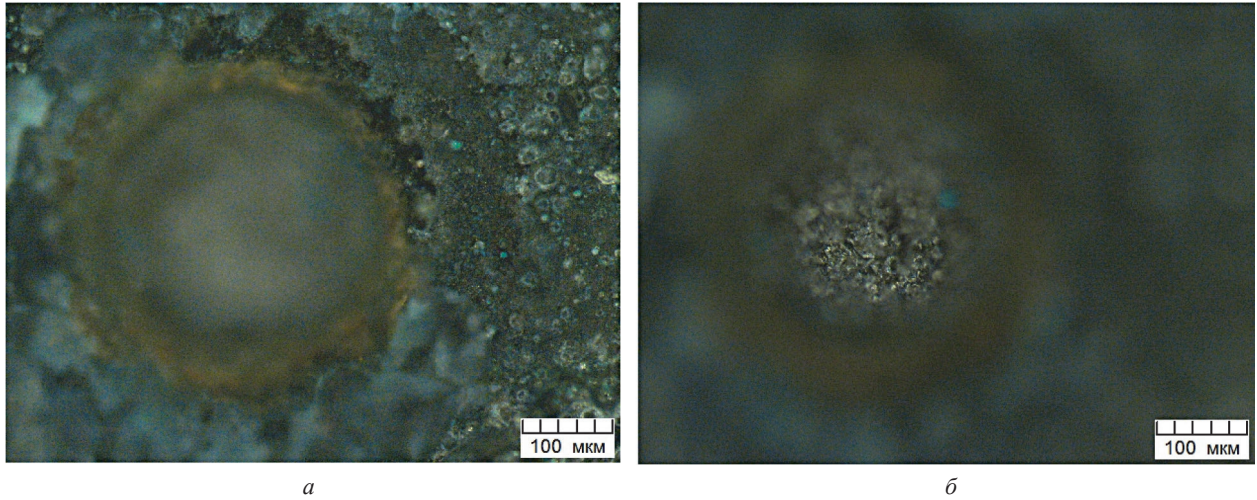


Рис. 2. Наведение на резкость: *а* – поверхность образца; *б* – поверхность лунки; микроскоп МИИ-1

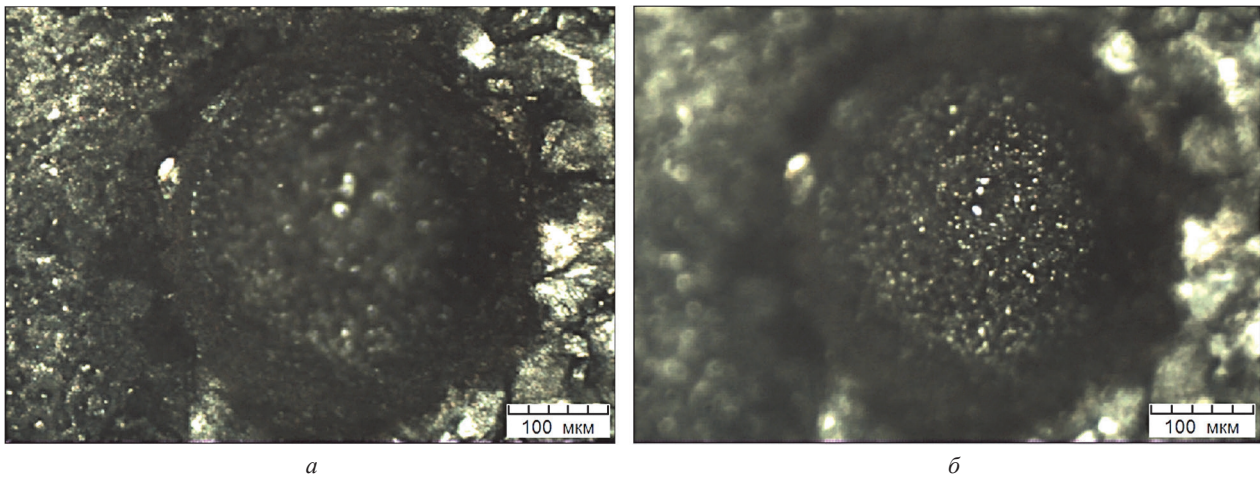


Рис. 3. Наведение на резкость: *а* – поверхность образца; *б* – поверхность лунки; микроскоп МИКРО-200

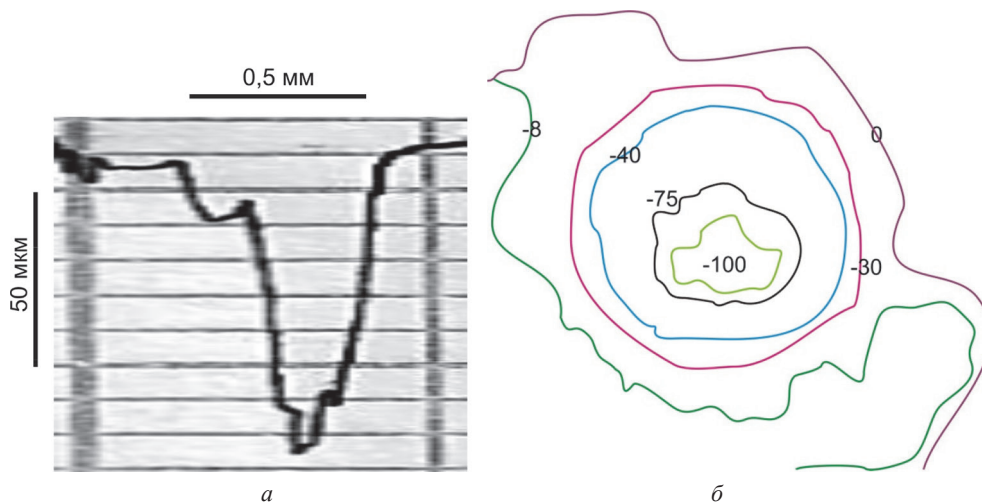


Рис. 4. Результаты определения глубины лунки на профилометре: *а* – профилограмма; *б* – изолинии глубины

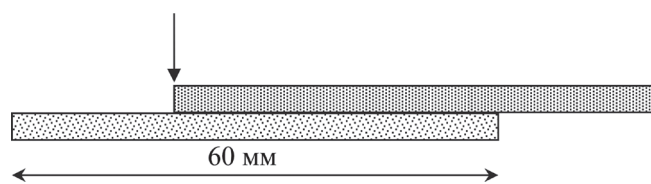


Рис. 5. Схема расположения пластин кварца

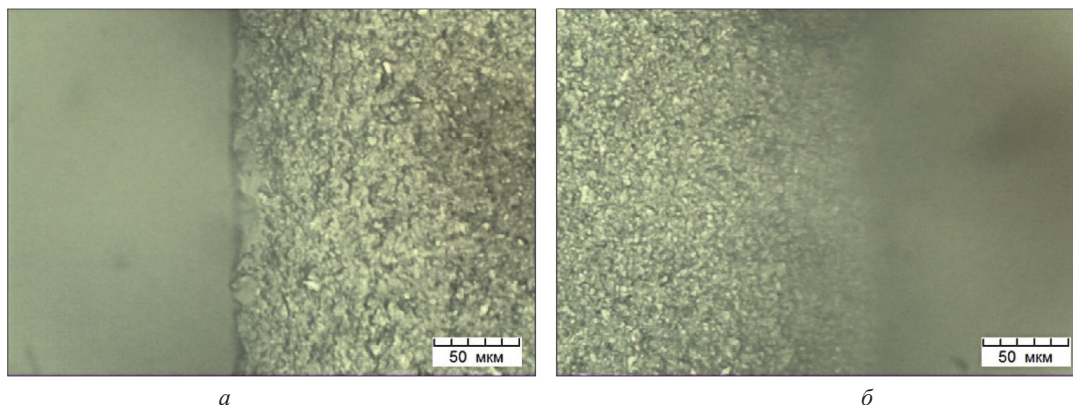


Рис. 6. Фокусировка на поверхность пластин: *а* – верхняя пластина; *б* – нижняя пластина

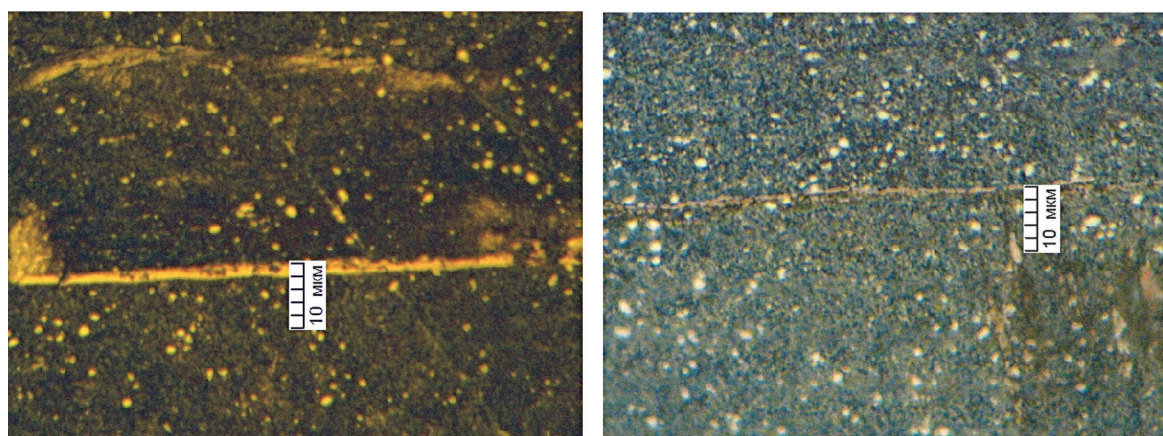


Рис. 7. Слой покрытия нитрида титана различной толщины

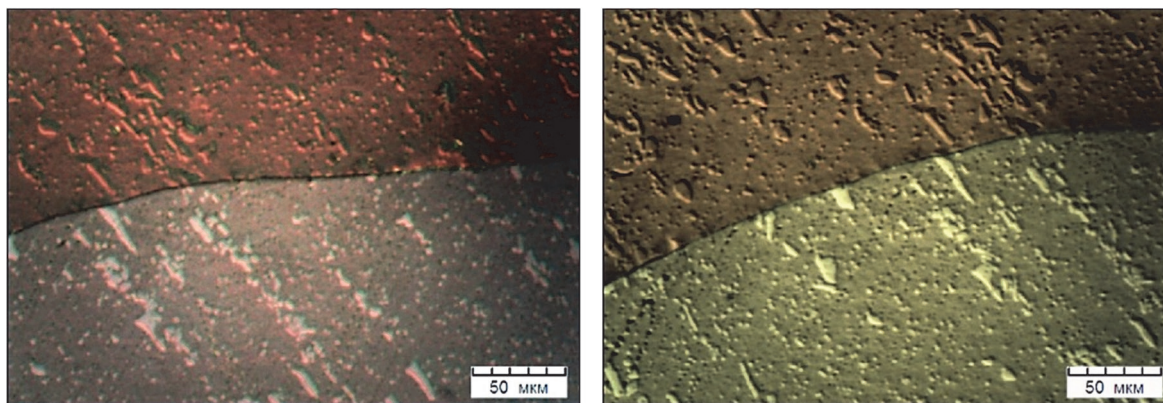


Рис. 8. Окрашивание участка образца при различном положении призмы Номарского

Фокусировка на основную плоскость (не по самому краю) показана на рис. 6. Координаты поверхности верхней пластины принимались за 0 мм.

Поверхность нижней пластины оказывалась полностью в резкости через восемь полных оборотов барабана точной настройки +31,5 по отсчету барабана. В сумме это составляет 431,5 по отсчету барабана или 863 деления: $863 \times 3,6 \times 0,14 = 434,952$ мкм (0,435 мм), что совпадает как с декларированными данными, так и с измерениями по объект-микрометру.

Приведенные выше случаи не представляют особой сложности в методическом плане. Более сложен вопрос определения толщины покрытий, поскольку толщина многих из них находится на пределе чувствительности металлографического оборудования. На рис. 7 показаны покрытия нитрида титана; для выявления слоя два образца сложены «сэндвичем» так, чтобы покрытие оказалось в середине образца. При достаточной толщине покрытия вопрос его выявления не представляет проблем. Толщина покрытия на рис. 7, *а* составляет порядка 2 мкм, на рис. 7, *б* – менее 1 мкм, но покрытие вполне различимо визуально и поддается количественному определению в программе обработки изображений.

Тем не менее, выявление слоев, толщина которых составляет доли микрона, проблематично средствами металлографического препарирования. Для определения толщины таких слоев можно воспользоваться методом дифференциально-интерференционного контраста [3]. Метод позволяет определять толщину по разности интерференционных цветов, если участки изображения находятся на различной высоте. Определить толщину покрытия можно, используя номограмму двойного лучепреломления.

На рис. 8 показан участок образца, где присутствуют участки с покрытием нитрида титана и без него. Съемка проведена с одного и того же участка при различном положении призмы Номарского. Покрытие нанесено на инструментальную сталь. На участке в нижней части снимка покрытие отсутствует.

Используя номограмму двойного лучепреломления, можно определить толщину покрытия. В данном случае она составляет порядка 100 нм.

Для более точного измерения толщин покрытий или глубины рельефа поверхности оптическими методами можно использовать интерференционные микроскопы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов П. М., Федоров В. А. Особенности формирования рельефа на поверхности металлов в зоне воздействия лазерного излучения // Вест. Тамб. ун-та. Сер. Естественные и технические науки. 2015. Т. 20. № 4. С. 872–877.
2. Захарченко А. А. Морфологические методы интерпретации измерений рельефа поверхности с помощью оптического микроскопа: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. М., 2006.
3. Анисович А. Г. Применение метода дифференциально-интерференционного контраста в материаловедении // В мире неразрушающего контроля. 2018. Т. 21. № 1. С. 66–69.

REFERENCES

1. Kuznecov P. M., Fedorov V. A. Osobennosti formirovaniya rel'efa na poverhnosti metallov v zone vozdeystviya lazernogo izlucheniya [Features of the formation of relief on the surface of metals in the zone of laser radiation.]. *Vestnik Tambovskogo Universiteta. Serija: estestvennye i tehnicheckie nauki = Bulletin of Tambov University. Series: natural and technical sciences*, 2015, vol. 20, no. 4, pp. 872–877.
2. Zaharchenko A. A. Morfologicheskie metody interpretacii izmerenij rel'efa poverhnosti s pomoshh'ju opticheskogo mikroskopa. Diss. kand. fiz.-mat. nauk [Morphological methods of interpretation of surface relief measurements using an optical microscope. Cand. phys. and math. sci. diss]. Moscow, 2006.
3. Anisovich A. G. Primenenie metoda differencial'no-interferencionnogo kontrasta v materialovedenii [Application of the method of differential-interference contrast in materials science]. *V mire nerazrushajushhego kontrolja = In the world of non-destructive testing*, 2018, vol. 21, no. 1, pp. 66–69.