

References

1. Kosolap YU.G. Teploprovodnost' binarnykh i smeshannykh rastvorov elektrolitov: dis...kand. tekhn. nauk: 05.14.05 - Baku, 1990. - 194s.
2. Lykov A.V. Teoriya teploprovodnosti. -M.: Vysshaya shkola, -1967.-599s.
3. Cederberg I.V. Teploprovodnost' gazov i zhidkostej. -M.: Nauka, -1963.-409s
4. Kondrat'ev G.M. Prilozhenie teorii regul'yarnogo ohlazhdeniya dvuhsostavnogo shara k opredeleniyu teploprovodnosti plohih provodnikov tepla // Izv. AN SSSR. Tekhnicheskie nauki. - 1950. - №4. - s.536.
5. Golubev I.F. Bikalorimetr dlya opredeleniya teploprovodnosti gazov i zhidkostej pri vysokikh davleniyah i razlichnykh temperaturah // Teploenergetika. - 1963. - №12. - s. 78-82.
6. Mustafaev R.A. Teplofizicheskie svoystva uglevodородов privysokikh parametrov sostoyaniya. -M.; Energiya, 1980. -296s.
7. Michels A. Sengers I. V. and Van der Culir P.S, The Thermal Conductivity of carbon dioxide in the critical Region // Physica, 1962, №3, R. 1201-1205.
8. Amirhanov H.I., Adamov A.P. Teploprovodnost' dvuokisi ugleroda vdol' pograničnoj krivoj i v oblasti kriticheskogo sostoyaniya // Teploenergetika. - 1963. - №7. -s. - 77-81.
9. Filippov L.P. Issledovanie teploprovodnosti zhidkostej. -M.: Izd-vo MGU, 1970.-239s.
10. Safronov G.A. Teploprovodnost' vodnykh rastvorov elektrolitov. Dis...kand. tekhn. nauk. - Baku, 1985.-220s.

УДК 53.091; 62-93

DOI: 10.34046/aumsuomt101/22

ДИФРАКТОМЕТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА СУДОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

*Е.Н. Сюсюка, кандидат технических наук, доцент
М.М. Савченко, курсант*

В статье рассмотрены вопросы применения дифрактометрических методов анализа поверхностей деталей судовых технических средств, проведен сравнительный анализ стационарных и настольных дифрактометров и областей их применения.

Ключевые слова: рентгеновская дифрактометрия, нарушения кристаллической структуры, дислокации, микротрещины, точечные дефекты, характеристики дифрактометров, прочность деталей.

DIFFRACTOMETRIC METHODS OF ANALYSIS OF SHIP TECHNICAL MEANS

E.N. Syusyuka, M.M. Savchenko

The article deals with the application of diffractometric methods for analyzing the surfaces of parts of marine equipment, a comparative analysis of stationary and desktop diffractometers and their applications is carried out.

Keywords: X-ray diffractometry, violations of the crystal structure, dislocations, microcracks, point defects, characteristics of diffractometers, strength of parts.

Дифрактометрические методы анализа строятся на применении дифракции рентгеновских лучей на кристаллической решётке. Рентгеновские методы определяют фазовый состав, параметры решётки, особенности кристаллического строения, плотность дислокаций, включения, фрагменты, ансамбли дислокаций, микротрещины, группы точечных дефектов порядка $10^{-4} - 10^{-6}$ м.

Алгоритм исследований:

- 1) Рентгеновский луч направляется на кристалл;
- 2) Кристаллическая решётка рассеивает луч по определённым направлениям;
- 3) Закреплённый на гониометре кристалл вращается вдоль своих осей симметрии;
- 4) Специальное устройство – дифрактометр, считывает отразившиеся лучи, и формирует дифракционную картину;

- 5) С помощью математических преобразований компьютер превращает дифракционные картины в трёхмерную карту плотности электронов, результат выводится на экран.

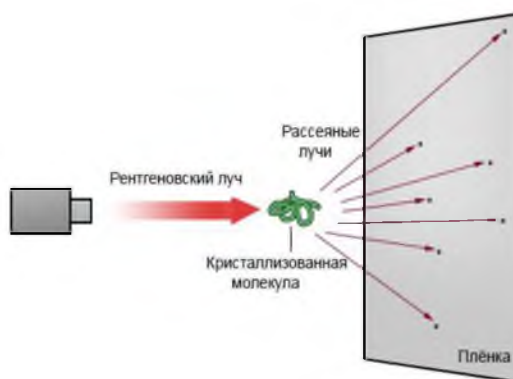


Рисунок 1 – Схема рассеивания рентгеновских лучей на кристалле

Рентгеноструктурный анализ используется при разработке практически всех новых материалов – тканей, жидких кристаллов, минералов. Поэтому спектр применения очень широк – машиностроение и приборостроение, геология, медицина, информационные технологии и др. [1, 2].

Существуют разновидности рентгеновских методов исследования: рентгенодифракционный анализ, малоугловое рассеяние, спектроскопия рентгеновского поглощения, рентгенофлуоресцентный анализ, рентгеновская дефектоскопия [3]. Они дают возможность получать разностороннюю информацию практически обо всех важнейших параметрах вещества, таких как его состав, кристаллическое совершенство, атомное строение. Особенно важно, что все рентгеновские методы высокочувствительны.

В качестве примера применения дифрактометров можно привести исследования поверхности зубьев шестерни, прошедших шлифовку и чистовое точение (резание) с использованием сверхтвердых материалов и керамики, с целью выяснения: глубины упрочненного слоя (наклепа); микроструктурных изменений поверхностного слоя; формирования напряженных состояний на поверхности и в приповерхностных слоях. Оба способа обработки проводились с использованием оптимальных режимов, которые были достигнуты выбором скорости резания, подачи, применения смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) на основе механических и дифрактометрических методов анализа упрочнения поверхностного слоя [4, 5].

В работе А.С. Глинка, А.Н. Смирнова, Н.В. Абабкова приведены результаты исследований фазового состава, морфологии и дефектной структуры стали 35ХГС в поверхностном слое после различных этапов и режимов обработки различными методами, в том числе и рентгеноструктурным анализом. Данные исследования позволили выбрать режим обработки, при котором на поверхности изделия формируется структурно-фазовое состояние с минимальным уровнем внутренних напряжений [6].

В работе [7] проводился сравнительный анализ измерения остаточных напряжений в деталях из стали 13Х15Н4АМЗ после продольного точения с варьированием подачи механического метода и метода рентгеноструктурного анализа. Выявлена достаточно хорошая сходимость результатов обоих методов. Применялись механические исследования для установки для измерения остаточных напряжений механическим методом

(УИДОН-2) и рентгеновским дифрактомером XStress 3000 G3R.

Авторами С. А. Наприенко, П. Н. Медведевым, А. Н. Раевских, М. А. Поповым разработана методика оценки ширины зоны пластической деформации с помощью особой геометрии рентгеновской съемки, который позволяет с высокой локальностью измерения определять изменения уширения рентгеновской линии по мере удаления дефектов от поверхности разрушения. Данные рентгеновского текстурного анализа подтверждены результатами анализа текстуры методом дифракции обратно рассеянных электронов (EBSD-анализа) [8].

Нами проведен анализ современных рентгеновских дифрактометров с целью подбора наиболее подходящих для исследования поверхностей судовых технических средств

Стационарные рентгеновские дифрактометры типа «Дрон-4, 5, 6, ...» предназначены для проведения широкого круга рентгеноструктурных исследований кристаллических материалов в лабораториях научно-исследовательских учреждений и промышленных предприятий. Принцип действия основан на дифракции рентгеновских лучей от атомных плоскостей кристаллической решетки исследуемого образца. Источником характеристического излучения в дифрактометре является рентгеновская трубка. Для выделения узкого участка спектра применяются отражения от плоского и изогнутого кристаллов-монокристаллов, распределение амплитуд определяется синтиллиационными счетчиками, используются селективно-поглощающие фильтры. Выходные импульсы после детектирования подвергаются усилению и амплитудной селекции и используются в качестве информационного сигнала, который затем обрабатывается вручную или компьютерной программой. Комплекс ДРОН-4 и его разновидности исполнения имеют в составе программно-управляющий блок регистрации амплитудного распределения импульсов, сбора и предварительной обработки дифрактометрических данных; устройство смены образцов, управляемое комплексом управления и регистрации. ДРОН-4 обеспечивают диапазон углового перемещения детектирования от 0 до 168° и от 0 до -100° вручную и в автоматическом режиме с любым шагом, кратным $0,001^{\circ}$. Допустимое отклонение углового положения блока детектирования $\pm 0,0150$, установочная скорость угловых перемещений блока детектирования $820^{\circ}/\text{мин}$, питание 380/220В частота

50+-1 Гц. Масса дифрактометра с вычислительным комплексом порядка 600 кг, габаритные размеры варьируются в зависимости от комплектации и применяемого компьютера.

Так жераспространены дифрактометры 5-го поколения – настольные, компактные, менее энергозатратные, но реализующие практически те же функции, что и стационарные. Представляем Таблица 1 – Анализ видов и характеристик настольных рентгеновских дифрактометровспециализированного назначения

	ДР-01,02,03, „Радиян”	«ДРН-01,02 Фарад»	D2 Phaser	Mini-Flex600	ДНР 401 Дифрей	ARL Equinox 1000
Номер в реестре ГСИ	39121-08	26598-04	43676-10	62118-15	35586-07	70030-17
Мощность в А	1000	200	600	1000	250	3500
Радиус гониометра мм	200	150	140	150	114	180
Диапазон сканирования угла (в град.)	-60,+160	-8,+140	-3+145	-3,+145	-100,+154	0,+154
Абсолютная погрешность измерений (в град.)	+0,1	+0,08	+0,02	+0,02	+0,08	+0,15
Габариты мм	495*395*505	520*417*180	610*600*700	560*700*460	560*280*540	520*750*530
Масса кг	41	20	95	80	30	65
Вид фронтальный						
Область применения	оценка уровня внутренних напряжений	фазовый анализ и определения толщины покрытий, периода кристалл.решетки	фазовый анализ веществ и материалов	фазовый анализ; определение периода кристаллической решетки, размера областей когерентного рассеяния	анализ текстуры на массивных образцах и покрытиях; качественный и количественный фазовый анализ.	уточнения параметров кристаллической структуры вещества методом Ритвельдда; определение остаточных напряжений
Производитель и его местоположение	ЗАО "НТЦ Эксперт-центр", 119 361, г.Москва, Озерная ул., 46.	ЗАО "НТЦ Эксперт-центр", 19800 5, г.С.-Петербург, Московский пр., 19	Bruker AXS GmbH", Ostliche Rheinbruckerstr.50 D-76187 Karlsruhe Germany	Фирма "Rigaku Corporation", Япония	Фирма "Rigaku Corporation", Япония	Фирма "Thermo Fisher Scientific INEL SAS", Франция
Ссылка на завод-изготовитель	[http://www.kip-guide.ru/info/39121-08]	[http://www.kip-guide.ru/info/26598-04]	[https://all-pribors.ru/online/43676-10-d2-phaser-45865]	[]	[]	[]

Анализ показывает, что по своим техническим характеристикам настольные рентгеновские дифрактометры не могут полностью заменить стационарные, но в ряде случаев их применение целесообразно и оправдано. Они имеют практически весь возможный набор областей применения: качественный и количественный фазовый анализ, определение степени кристалличности и размеров кристаллитов, уточнение параметров и

анализ видов и характеристик настольных рентгеновских дифрактометров, которые могут применяться как в лабораторных условиях для обнаружения дефектов и остаточных напряжений в поверхностном слое деталей СТС, так и в полевых условиях, на судне или другом объекте, обеспечивая максимум гибкости при проведении анализа.

уровня искажений кристаллической решетки. Таким образом, несмотря на простоту в работе и обслуживании и более низкую стоимость, настольные дифрактометры дают возможность получить такие же надежные результаты при исследовании качества поверхностного слоя, дислокаций в материале деталей, обнаружении микротрещин, определении толщины упрочненного слоя и т.д.,

как и при работе на стандартном большом много-целевом дифрактометре.

Литература

1. Русаков А.А. Рентгенография металлов: учеб. для вузов. – М.: Атомиздат, 1977. – 480 с.
2. Шамрай В.Ф., Лифшиц В.А., Серебряный В.Н. и др. Опыт использования дифрактометра ДР 01 с приставкой ПГТМ для исследования текстур // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2009. – Т. 75. – №1. – С. 32-35.
3. Кокорева И. Рентгеновские методы неразрушающего контроля / И. Кокорева, Г. Щелкунов // Электроника: Наука, технология, бизнес. – 2007. – № 5(79). – С. 84-93.
4. Сюсюка Е. Н. Исследование зависимости структуры рабочей поверхности шестерни от способов обработки / Е. Н. Сюсюка, Т. А. Блинова // Научное обозрение. – 2014. – № 10-1. – С. 50-53.
5. Блинова Т. А. Влияние способов обработки на структуру поверхностного слоя шестерни / Т. А. Блинова, Е. Н. Сюсюка // Междисциплинарные подходы в материаловедении и технологии. Теория и практика: Сборник трудов Всероссийского совещания заведующих кафедрами материаловедения и технологии материалов, Белгород, 06–08 октября 2015 года / Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2015. – С. 35-40.
6. Глинка А. С. Оценка параметров микроструктуры и локальных полей внутренних напряжений в металле заготовок с применением неразрушающих методов / А. С. Глинка, А. Н. Смирнов, Н. В. Абабков // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2018. – Т. 15. – № 4. – С. 543-547. – DOI 10.25712/ASTU.1811-1416.2018.04.015.
7. Тихонов А. Г. Исследование остаточных напряжений в поверхностном слое деталей из стали 13Х15Н4АМ3 при продольном течении / А. Г. Тихонов, П. С. Смольков // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2018. – Т. 22. – № 8(139). – С. 34-45. – DOI 10.21285/1814-3520-2018-8-34-45.
8. Дифракционные методы исследования при анализе зоны пластической деформации под поверхностью разрушения / С. А. Наприенко, П. Н. Медведев, А. Н. Раевских, М. А. Попов // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия Машиностроение. – 2019. – № 4(127). – С. 97-110. – DOI 10.18698/0236-3941-2019-4-97-110.
9. Стрекаловский В. Н. Аппаратура в рентгеновской дифрактометрии / В. Н. Стрекаловский, Б. Д. Антонов // Аналитика и контроль. – 2003. – Т. 7. – № 1. – С. 12-16.
10. <http://xrayinstruments.ru/devices/xray-diffractometer>

References

1. Rusakov A.A. Rentgenografiya metallov: ucheb. dlya vuzov. M.: Atomizdat, 1977. 480 s
2. SHamraj V.F., Lifshic V.A., Serebryany V.N. i dr. Opyt ispol'zovaniya difraktometra DR 01 s pristavkoj PGTМ dlya issledovaniya tekstur // Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov. 2009. T. 75. №1. S. 32–35.
3. Kokoreva I. Rentgenovskie metody nerazrushayushchego kontrolya / I. Kokoreva, G. SHCHelkunov // Elektronika: Nauka, tekhnologiya, biznes. – 2007. – № 5(79). – S. 84-93.
4. Syusyuka E. N. Issledovanie zavisimosti struktury rabochej poverhnosti shesterni ot sposobov obrabotki / E. N. Syusyuka, T. A. Blinova // Nauchnoe obozrenie. – 2014. – № 10-1. – S. 50-53.
5. Blinova T. A. Vliyanie sposobov obrabotki na strukturu poverhnostnogo sloya shesterni / T. A. Blinova, E. N. Syusyuka // Mezhdisciplinarnye podhody v materialovedenii i tekhnologii. Teoriya i praktika : Sbornik trudov Vserossijskogo soveshchaniya zaveduyushchih kafedrami materialovedeniya i tekhnologii materialov, Belgorod, 06–08 oktyabrya 2015 goda / Belgorodskij gosudarstvennyj tekhnologicheskij universitet im. V.G. SHuhova. – Belgorod: Belgorodskij gosudarstvennyj tekhnologicheskij universitet im. V.G. SHuhova, 2015. – S. 35-40.
6. Glinka A. S. Ocenka parametrov mikrostruktury i lokal'nyh polej vnutrennih napryazhenij v metalle zagotovok s primeneniem nerazru-shayushchih metodov / A. S. Glinka, A. N. Smirnov, N. V. Ababkov // Fundamental'nye problemy sovremenного materialovedeniya. – 2018. – T. 15. – № 4. – S. 543-547. – DOI 10.25712/ASTU.1811-1416.2018.04.015.
7. Tihonov A. G. Issledovanie ostatochnykh napryazhenij v poverhnostnom sloe detalej iz stali 13H15N4AM3 pri prodol'nom tochenii / A. G. Tihonov, P. S. Smol'kov // Vestnik Irkutskogo gosudarstvenного tekhnicheskogo universiteta. – 2018. – T. 22. – № 8(139). – S. 34-45. – DOI 10.21285/1814-3520-2018-8-34-45.
8. Difrakcionnye metody issledovaniya pri analize zony plasticheskoy deformacii pod poverhnost'yu razrusheniya / S. A. Naprienko, P. N. Medvedev, A. N. Raevskih, M. A. Popov // Vestnik Moskovskogo gosudarstvenного tekhnicheskogo universiteta im. N.E. Baumana. Seriya Mashinostroenie. – 2019. – № 4(127). – S. 97-110. – DOI 10.18698/0236-3941-2019-4-97-110.
9. Strekalovskij V. N. Apparatura v rentgenovskoj difraktometrii / V. N. Strekalovskij, B. D. Antonov // Analitika i kontrol'. – 2003. – T. 7. – № 1. – S. 12-16.
10. <http://xrayinstruments.ru/devices/xray-diffractometer>