

Применение аппаратно-программного комплекса на основе рентгеновского дифрактометра ДРОН-8 в авиакосмической промышленности

21 век является веком новых материалов и технологий, поэтому при производстве и эксплуатации авиационной техники и разработке конструкционных материалов предприятия авиакосмической отрасли постоянно сталкиваются с задачами, которые можно эффективно решать, используя различные методы рентгеновской дифракции.

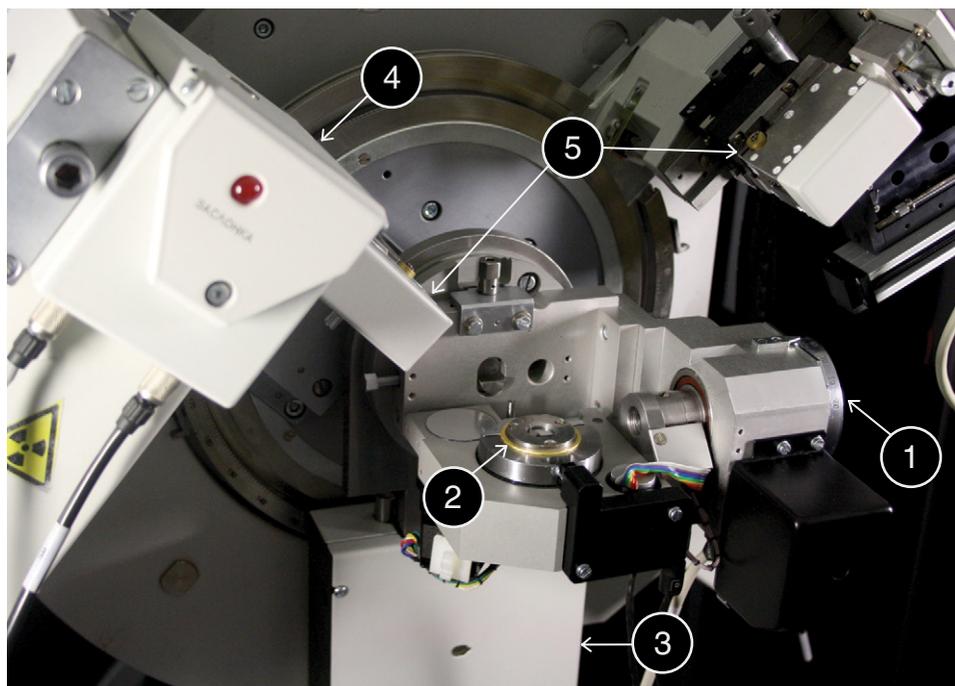
Объект исследования	Задачи
материалы (керамика, металлы и сплавы)	качественный и количественный фазовый анализ; анализ текстур
детали, конструкции, в том числе после эксплуатации и разрушения	<ul style="list-style-type: none"> определение величин остаточных напряжений; анализ текстур; фазовый анализ материалов и продуктов их разрушения.
монокристаллические заготовки из жаропрочных сплавов для выращивания турбинных лопаток (стержни, конусы, затравки)	экспресс-анализ кристаллографической ориентации, определение качества монокристаллов
датчики ИМТК (неограниченные кристаллы карбида кремния диаметром около 1мм, алмаз)	анализ искажений метрики кристаллической решетки в заданном направлении для анализа локальных термических воздействий на детали и конструкции при их эксплуатации, в том числе в экстремальных условиях

Для решения данного круга задач оптимальным оборудованием является дифрактометр ДРОН-8, укомплектованный приставкой ПГТМ (рисунок 1) с различными держателями (рисунок 2). Данная конфигурация аппарата может быть дополнена линейным позиционно-чувствительным детектором (рис. 3) и комплектом для его одновременной установки с базовым сцинтилляционным счетчиком.

Помимо рутинного фазового анализа (пример на рис. 4), для выполнения которого достаточно вращения образца с постоянной скоростью по оси φ , дифрактометр ДРОН-8, укомплектованный приставкой ПГТМ, позволяет определять структурные характеристики кристаллических материалов, зависящие от направления (текстура, кристаллографическая ориентация, остаточные напряжения, рис. 5-7), а также осуществлять построение лауэграмм (рис. 8).

Реализация различных методов измерения для анализа этих характеристик возможна благодаря конструкции ПГТМ, в которой предусмотрены два независимых перемещения образца: поворот φ в собственной плоскости от 0° до 360° с дискретностью 0.1 град. и наклон χ перпендикулярно направлению рентгеновского пучка от -3 до 70° с дискретностью 0.01 град. Отсчеты по осям φ и χ определяют положение образца в сферической системе координат.

Таким образом, аналитический комплекс, состоящий из дифрактометра и приставки, имеет четыре степени свободы: две (2θ и Ω -повороты) – у двухкружного гониометра и две (φ и χ - повороты) – у приставки. Четыре независимо управляемых поворота могут быть синхронизированы различным образом в зависимости от выбранного метода измерения и задачи исследования (рис. 5-9).



1 – механизм перемещения образца;
 2 – контрольный образец монокристалла германия;
 3 – лифт;
 4 – кожух трубки;
 5 – щелевые устройства.

Рисунок 1 – Приставка ПГТМ, установленная на гониометре дифрактометра ДРОН-8.

Рисунок 2 – Различные типы образцов и держатели для них, входящие в комплект принадлежностей приставки ПГТМ:

а. держатель для стержней различной длины (Ø до 15 мм);



в. чашки для установки небольших лопаток (Ø до 28 мм);



г. центрирующий держатель для монокристаллов малого размера (Ø до 2 мм);



б. чашки для установки затравок (Ø до 28 мм) при выращивании лопаток;



д. держатель для установки конусов различной формы.





а.

б.

Рисунок 3 – Линейные позиционно-чувствительные детекторы: а – модель MYTHEN2 R 1K (1280 каналов); б – модель MYTHEN2 R 1D (640 каналов).

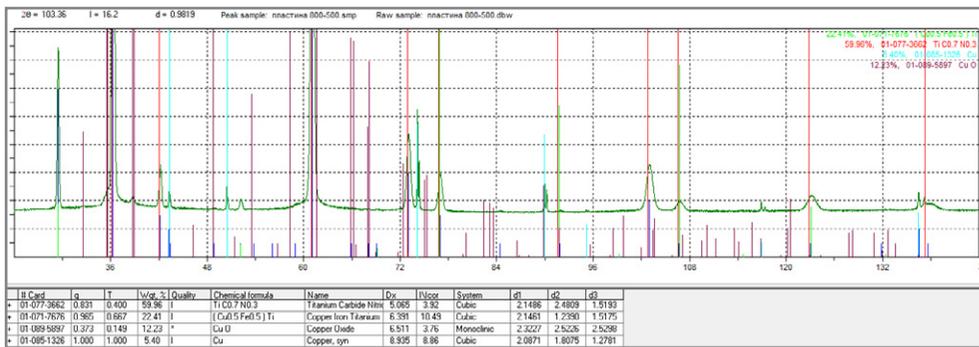


Рисунок 4 – Пример количественного фазового анализа сплава методом RIR по базе порошковых данных PDF-2.

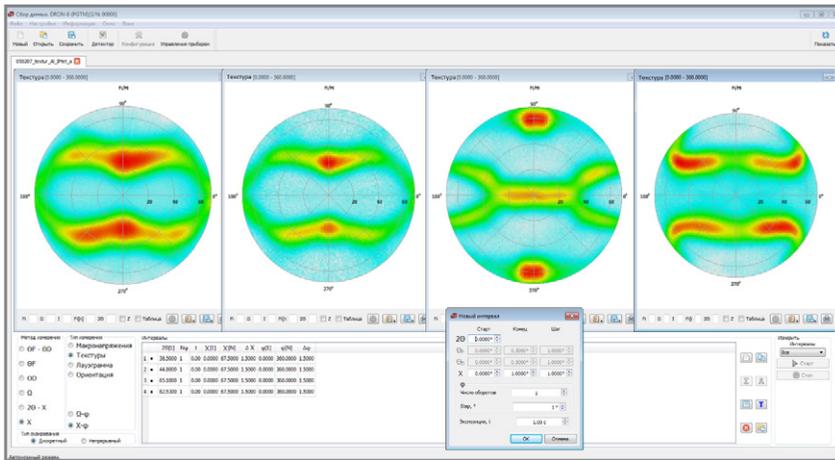


Рисунок 5 – Примеры прямых полюсных фигур (ППФ) для различных отражений текстурированного сплава на основе алюминия.

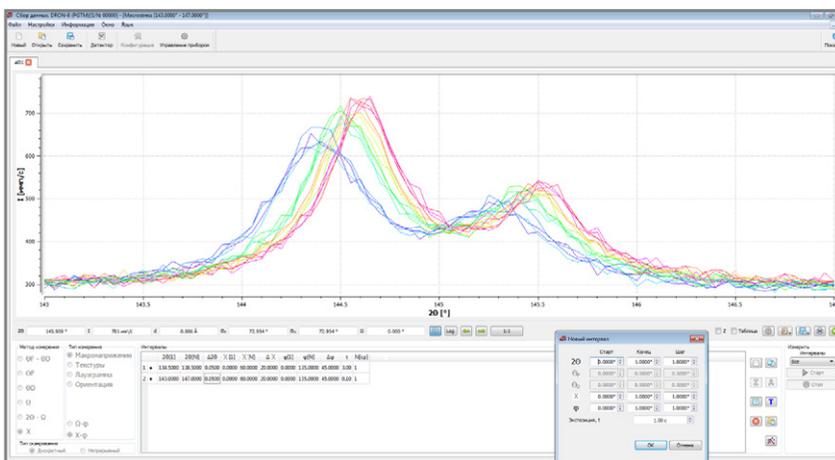
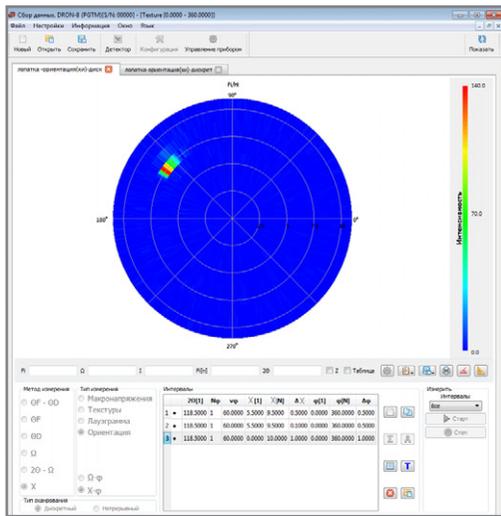
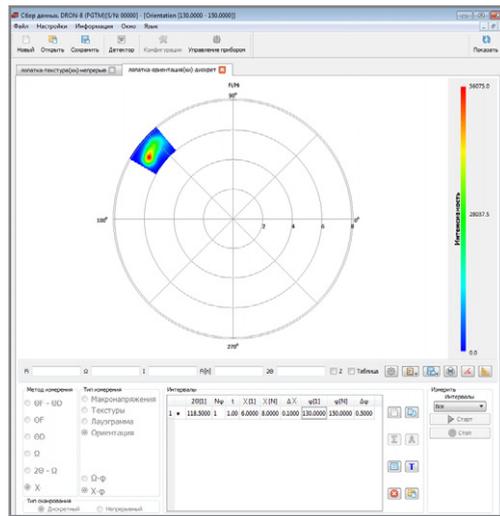


Рисунок 6 – Пример массива измеренных данных для расчета остаточных напряжений в образце алюминиевого проката.



результат поиска рефлекса монокристалла турбинной лопатки для определения его ориентации



результат сканирования части пространства вокруг рефлекса для уточнения ориентации кристалла

Рисунок 7 - Сбор данных в блоке «Ориентация».

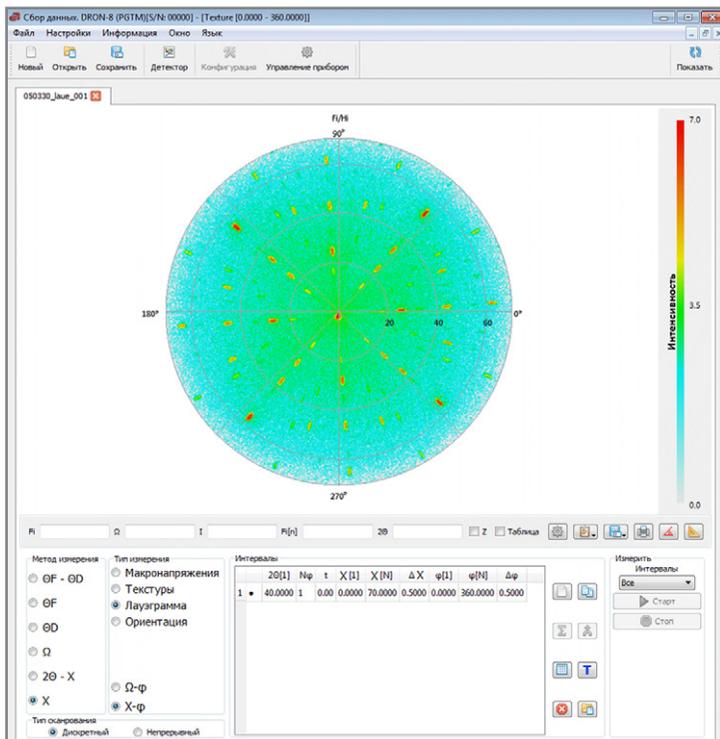
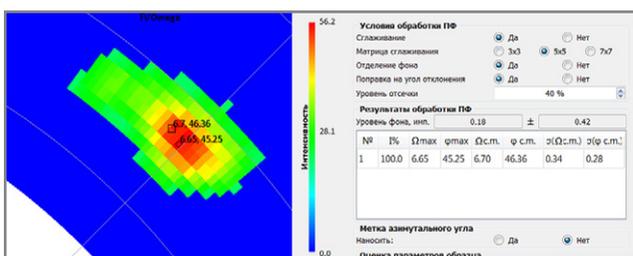
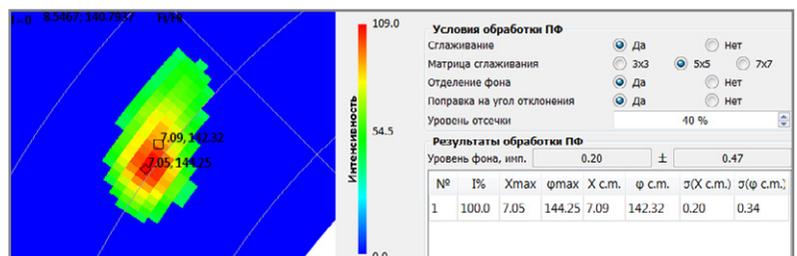


Рисунок 8 – Пример измерения лауэграммы кубического кристалла.



а.



б.

Рисунок 9 – Пример определения угла отклонения для турбинной лопатки методами поворота (а) и наклона (б).

В конфигурации дифрактометра с ПГТМ возможно сочетание сбора данных методом наклона χ - φ при фиксированном угле дифракции 2θ и методом θ - θ при фиксированном положении приводов (χ , φ) приставки. Это дает возможность определять ориентацию монокристалла, выводить в отражающее положение конкретный брэгговский рефлекс по измеренным координатам (χ , φ) и проводить 2θ сканирование этого рефлекса для определения межплоскостного расстояния в данном направлении (рис. 10).

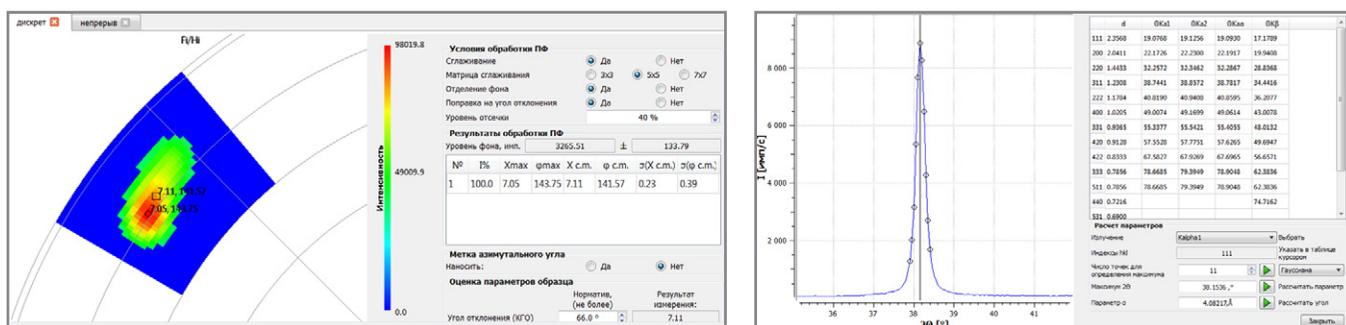


Рисунок 10 – Пример определения координат (χ , φ) рефлекса 111 от датчика ИМТК и вывод этого рефлекса в отражающее положение для последующего 2θ сканирования.