

# ЭКСПРЕССНЫЙ КОНТРОЛЬ ОРИЕНТАЦИИ КУБИЧЕСКИХ МОНОКРИСТАЛЛОВ

Н.Н.Потрахов, Р.Х.Осес, В.А.Лифшиц ООО«РДС лаб», СПб, Россия

## ВВЕДЕНИЕ

Доклад посвящён вопросам контроля кристаллографической ориентации монокристаллов жаропрочных сплавов на основе никеля при производстве монокристалльных турбинных лопаток методом направленной кристаллизации.

Экспрессное определение кристаллографической ориентации монокристаллов и величины разориентации субзёрен требуется при анализе стержней-заготовок, затравочных пластин, образцов-свидетелей и отдельных участков поверхности отливок [1].

Контроль ориентации образцов небольшого размера выполняют на дифрактометрах общего назначения в характеристическом излучении. Неразрушающий контроль участков на поверхности отливок на ДРОНах неосуществим, поэтому были предприняты попытки использовать съёмку по методу Лауэ. Созданы аппараты с двумерным детектором «Scorpio» (Rolls Royce, Англия) [2,3] и более современный «Galaxy» (Германия), выдающие и обрабатывающие лауэграммы «в режиме реального времени». Однако они предлагаются по цене, исключающей их широкое применение на моторостроительных предприятиях.

Положение изменилось, когда были разработаны двумерные позиционно-чувствительные детекторы на основе экрана с фотостимулируемым люминофором. Благодаря высокой разрешающей способности детектора, его можно расположить близко к точке съёмки, и за короткое время экспозиции получить чёткую лауэграмму.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Разработанная модификация установки ПРДУ «КРОС» (рис. 1) для определения ориентации образцов-монокристаллов по обратным лауэграммам (эпиграммам) включает в себя рентгенозащитную камеру (в которой размещены двухкоординатный столик образца и штатив, несущий блок «излучатель-детектор»), лазерный сканер для считывания дифракционной картины с плоского позиционно-чувствительного детектора, ПК со специализированным программным обеспечением. Острофокусная трубка мощностью 100 Вт позволяет за время 1-2 минуты зарегистрировать эпиграмму от участка образца диаметром 0,5-1,0 мм.



Рис. 1: Внешний вид дифракционной установки ПРДУ «КРОС»

Программное обеспечение решает задачу автоматического распознавания лауэ-рефлексов, определения их координат и преобразования эпиграммы в стереографическую проекцию. Начальное совмещение экспериментальной стереограммы с фрагментом стандартной стереограммы ГЦК кристалла производится в диалоге с оператором. «Повороты» стандартной сетки относительно трёх координатных осей осуществляются путём пересчёта сферических координат всех узлов сетки. Когда лауэ-узоры совпали, это означает, что индексы НКЛ зарегистрированных рефлексов определены. Параметры оптимального совмещения для всей совокупности пар пятен программа находит автоматически. Отслеживаются повороты системы координат [4], связанной со стандартной сеткой, относительно приборной системы координат, и положение кристаллографических осей монокристалла выдаётся в форме матриц направляющих косинусов.

Телесный угол, в котором находятся регистрируемые нормали к отражающим плоскостям, примерно соответствует единичному треугольнику «100-110-111» кубической системы, поэтому оператор в большинстве случаев может сразу распознать характерное расположение рефлексов и быстро подвести соответствующий фрагмент теоретической стереограммы к экспериментальной стереограмме. Но из-за того, что центральная часть стереограммы занята отверстием для коллиматора первичного пучка, и на стереограмме присутствуют части двух (или большего числа) единичных треугольников, нужный фрагмент узора иногда приходится находить методом проб и ошибок.

Для определения разориентировки субзёрен требуется, чтобы перемещение образца от одной точки съёмки к другой выполнялось строго поступательно, без угловых перемещений. В ПРДУ «КРОС» это обеспечивается использованием координатного столика.

Согласно оценкам, при совмещении 15-20 пар узлов экспериментального лауэ-узора с теоретическим средняя ошибка для пары совмещаемых узлов составляет порядка  $0,2^\circ$ . Это характеризует точность определения координат рефлексов при обработке эпиграммы. Сама процедура финишного автоматического совмещения узоров совершается с воспроизводимостью около  $0,1^\circ$  (Рис.2). Точность измерений ориентации должна быть определена путём параллельных съёмок специально подобранных образцов на дифрактометре.

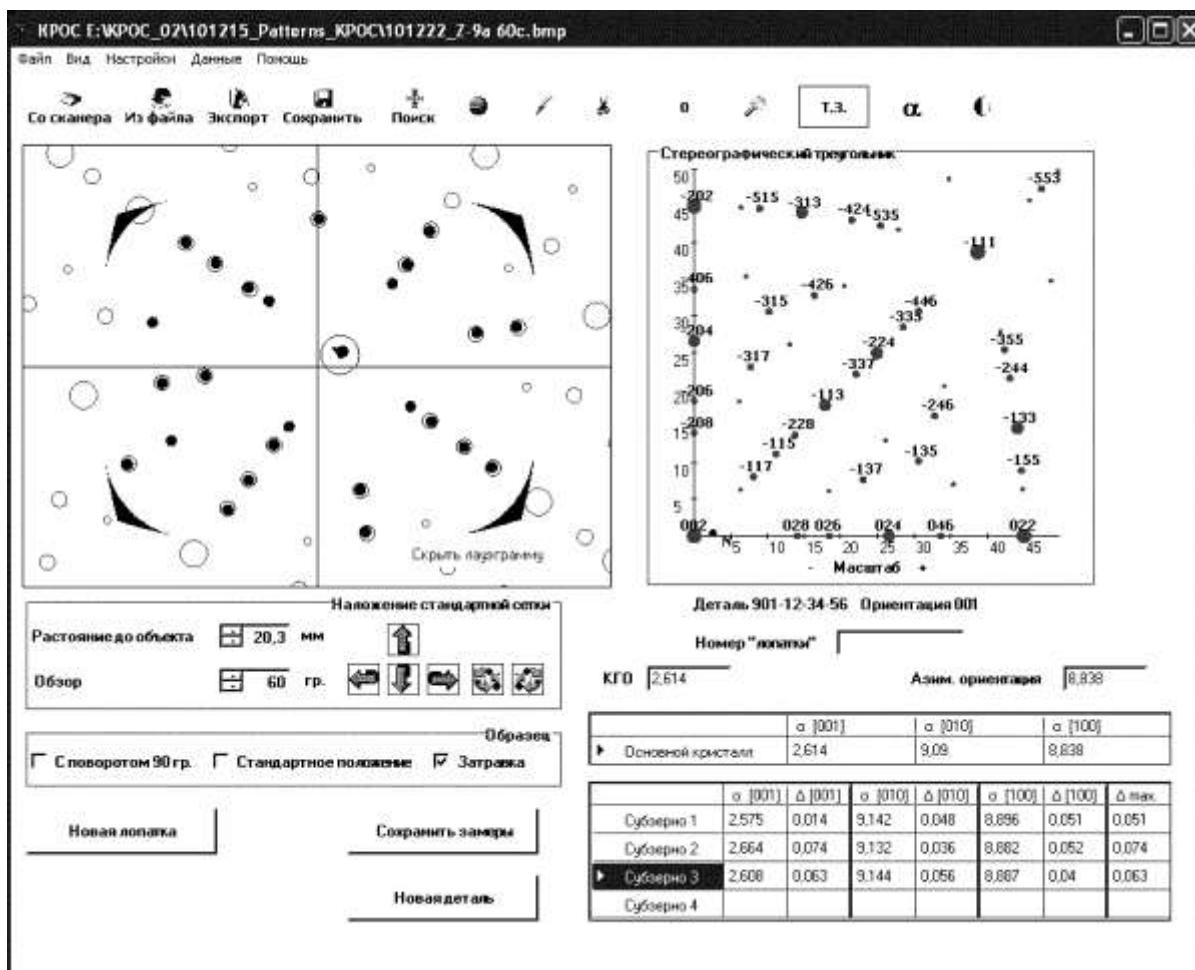


Рис.2: Рабочее окно программы KPOS. В таблице показана воспроизводимость процедуры совмещения лауэ-узоров при повторных запусках.

## ВЫВОДЫ

Разработана и внедряется на предприятиях установка ПРДУ «КРОС» для экспрессного анализа ориентации образцов монокристаллов жаропрочных сплавов. Цена установки почти на порядок ниже, чем у импортных аппаратов, которые при решении конкретных задач контроля турбинных лопаток дают информацию примерно того же объёма.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сидохин Ф.А., Сидохин А.Ф., Сидохин Е.Ф. Об определении кристаллографической ориентации монокристаллов методом Лауэ. «Заводская лаборатория», 2009, т.75, №1, с.35
2. Higginbotham G.J.S. From research to cost-effective directional solidification and single-crystal production – an integrated approach. «Mater.Science and Technol.», May 1986, V.2, p.442
3. Jones A.T., Baxter C. The Rolls Royce «Scorpio» system. «Meas.Sci.Technol.» V.6 (1995) p.131
4. Шереметьев И.А., Белинский С.Н. Стереографическая ЭВМ-система «Pilot-96» для анализа лауэграмм кубических кристаллов. Вестн. Челяб. ун-та, Сер.6, Физика, 1998, №1(2), с.77

(Тезисы к конференции РОНКТД в Самаре 6-8 сентября 2011г. : potrakhov\_N\_N\_.doc)