

УДК 535.313.6-022.4:778.33

Влияние размера фокального пятна на качество рентгеновских изображенийД.А. Ботезату

Научный руководитель: доцент, к.т.н. А.В. Батранин
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: dab33@tpu.ru

The influence of focal spot size on the quality of X-ray images.D.A. Botezatu

Scientific Supervisor: Assoc. Prof., Ph.D. A.V. Batranin
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: dab33@tpu.ru

Abstract. *The paper examines the impact of focal spot size on the quality of X-ray images. A smaller focal spot provides a clearer and more detailed image, which is crucial for detecting minor defects such as microcracks or voids. Technologies for minimizing image blur, including microfocus and nanofocus tubes, as well as digital image processing, are discussed. Examples comparing images with good and poor focus highlight the importance of precise focus for accurate measurements and analysis.*

Key words: *radiography, X-ray, focal spot, blurriness, microchip.*

Введение

В рентгенографии фокальное пятно – это область на рентгеновской трубке, где происходит генерация рентгеновских лучей. Чем меньше это пятно, тем более чётким и детализированным будет изображение. Это похоже на то, как работает фонарик: если световой пучок узкий и сфокусированный, то он освещает только конкретную точку, а если рассеянный, то свет расплывается и детали теряются. [1]

Рентгеновские лучи генерируются, когда электроны, разогнанные до высокой скорости, ударяются о металлическую мишень. Чем меньше фокальное пятно, тем сложнее сфокусировать электронный пучок и тем больше энергии требуется. Кроме того, при уменьшении размера пятна увеличивается нагрузка на мишень, что может привести к её перегреву и повреждению. А если пятно слишком большое, то на снимке могут появиться артефакты, такие как искажения, которые мешают правильно интерпретировать данные. Чтобы минимизировать эти проблемы, используются специальные технологии. Например, в современных рентгеновских установках применяются микрофокусные и нанофокусные трубки. Микрофокусные трубки позволяют получить фокальное пятно размером в несколько микрометров, а нанофокусные – даже меньше одного микрометра. Это достигается за счёт использования специальных электронных линз, которые фокусируют пучок электронов с высокой точностью. Кроме того, важно учитывать геометрию съёмки. Расстояние между источником рентгеновских лучей, объектом и детектором также влияет на качество изображения. Чем ближе объект к источнику, тем больше увеличение, но при этом увеличивается и размытие из-за геометрических искажений. [1]

Размер фокального пятна влияет на четкость изображения: чем больше фокальное пятно, тем больше нерезкость, так как более широкий пучок рентгеновских лучей размывает детали на изображении. Угол, под которым рентгеновские лучи выходят из фокального пятна, влияет на нерезкость: чем больше угол, тем больше размытие. [2]

Рентгеновские установки используют различные технологии для минимизации нерезкости. Одним из методов является использование цифровой обработки изображений, которая позволяет улучшить четкость и контрастность снимков, применяются специальные

фильтры и алгоритмы, которые корректируют изображение в реальном времени, уменьшая эффект размытости. Адаптивные фильтры могут автоматически подстраиваться под условия съемки, улучшая качество конечного изображения, внедрение микрофокусных и нанофокусных трубок позволяет значительно уменьшить размер фокального пятна, что снижает нерезкость и повышает детализацию изображения.

Нерезкость изображения, является параметром, которым можно измерить качество рентгеновского снимка. Нерезкость возникает, когда детали изображения становятся нечёткими, это может быть вызвано различными факторами, включая размер фокального пятна и качество фокусировки, чем больше размер фокального пятна, тем больше нерезкость. Измерение нерезкости позволяет оценить, насколько чётким является изображение, и выявить потенциальные проблемы с оборудованием или настройками. [2]

Экспериментальная часть

Для исследования было обработано два изображения: рис. 1 и рис. 2. На рис. 1 пример маленького фокуса, а на рис. 2 – большого. Сравнивая их, можно наглядно понять, как фокальное пятно влияет на качество рентгеновского изображения чипа.

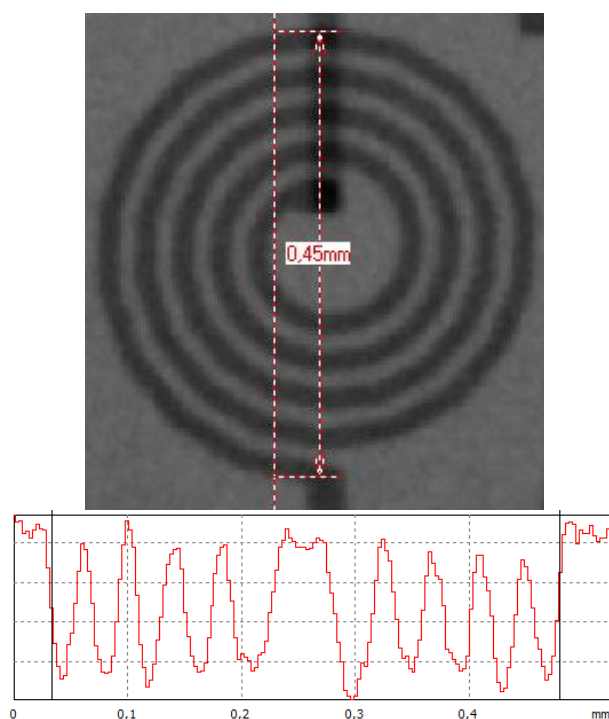


Рис. 1. Маленький фокус

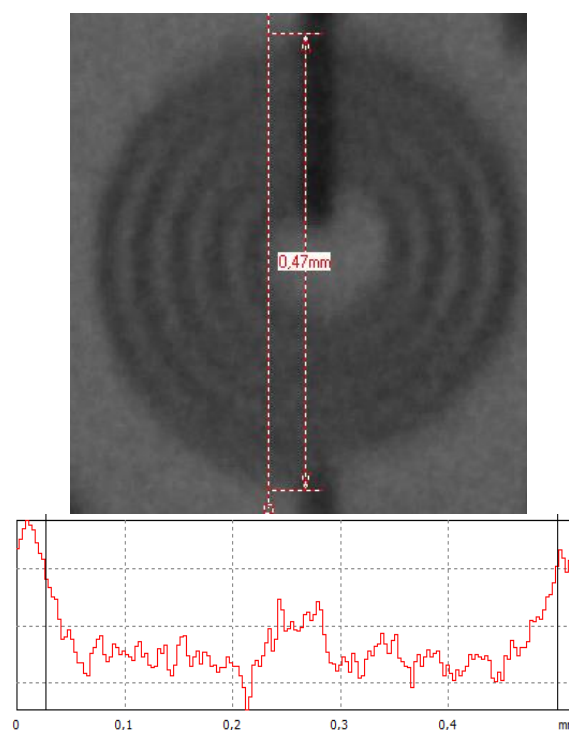


Рис. 2. Большой фокус

На рис. 1. изображение схемы выглядит чётким и детализированным. Это результат того, что фокальное пятно было маленьким и хорошо сфокусированным. Это означает, что мы можем измерить расстояние с точностью до микрометра. Например, если реальное расстояние между контактами составляет 4,5 мкм, то на мы получим значение, близкое к этому числу, например, 4,4 или 4,4 микрометров. Погрешность минимальна. Это идеальный случай, к которому стремятся инженеры при настройке рентгеновского оборудования. Маленькое фокальное пятно позволяет различать даже мельчайшие дефекты, такие как микротрещины или пустоты в материале, что крайне важно для анализа качества чипа. [3]

Рис. 1. демонстрирует высокую чувствительность, это проявляется в четком различии линий и пустот, что обеспечивает лёгкость восприятия и анализа данных. Пустоты между линиями указывают на области с меньшей плотностью или отсутствием материала. Такие области могут свидетельствовать о качестве съемки при маленьком фокальном пятне, что важно учитывать при

интерпретации результатов. Анализ такого графика позволяет оценить целостность и качество микросхемы, выявить возможные дефекты и определить их локализацию.

На рис. 2. изображение выглядит размытым, контуры элементов микросхемы нечёткие, а мелкие детали сливаются в одно пятно. Это происходит из-за того, что фокальное пятно было слишком большим. В рентгенографии это может привести к тому, что критически важные дефекты останутся незамеченными. Например, трещина в проводнике может быть пропущена, что в дальнейшем приведёт к отказу устройства.

Погрешность измерений: из-за размытости измеренного расстояния будет сильно отличаться от реального. Например, если реальное расстояние между контактами составляет 4,5 микрометров, то можно получить значение, превышающее реальное. Это происходит потому, что размытые границы сдвигают видимые края элементов, искажая реальную картину. Невозможность анализа мелких деталей: если между контактами есть микротрещины или пустоты, они могут быть полностью скрыты из-за размытости изображения. Это делает невозможным не только точное измерение расстояния, но и оценку состояния материала между элементами. В результате, высокая нерезкость не только снижает точность измерений, но и усложняет обнаружение дефектов, что может привести к неправильным выводам и ошибкам в анализе микросхем.

Рис. 2. полученный с увеличенным фокальным пятном, демонстрирует значительное размытие изображения. В результате график получился плохим и нечетким, что затрудняет анализ. Линии, которые должны обозначать границы элементов практически неразличимы. Это приводит к тому, что структуры и компоненты микросхемы не могут быть точно идентифицированы.

Заключение

Размер фокального пятна оказывает значительное влияние на качество рентгеновских изображений. Малое фокальное пятно обеспечивает высокую четкость и детализацию, что позволяет точно измерять расстояния и выявлять мелкие дефекты. Это подтверждается анализом графиков, где при малом фокальном пятне наблюдается чёткое различие линий, что облегчает восприятие и анализ данных. В то же время большое фокальное пятно приводит к размытости изображения, снижая точность измерений и затрудняя обнаружение критических дефектов, как это видно на графике с увеличенным фокальным пятном. Таким образом, для достижения высокой диагностической ценности рентгеновских снимков необходимо использование технологий, минимизирующих размер фокального пятна.

Список литературы

1. Richards B., Wolf E. Electromagnetic diffraction in optical systems. II. Structure of the image field in an aplanatic system // Proc. R. Soc. London Ser. A. – 1959. – Vol. 253. – P. 358–379.
2. Клименов В.А., Алхимов Ю.В., Штейн А.М., Касьянов С.В., Бабилов С.А., Батракин А.В., Осипов С.П. Применение и развитие методов цифровой радиографии для технической диагностики, неразрушающего контроля и инспекции // Контроль. Диагностика. – 2013. – № 13. – С. 31–42.
3. Rao R., Mitic J., Serov A., Leitgeb R.A., Lasser T. Field confinement with aberration correction for solid immersion lens based fluorescence correlation spectroscopy // Optics Communications. – 2007. – Vol. 271. – P. 462–469.