УТВЕРЖДАЮ Проректор по НР и инновациям А.Г.Лощилов Oth WEFO 05P4308 декабря 2019 г. MII

Методика измерения профиля 3D пленок с помощью профилометра Profilm3D

Согласовано

Руководитель ЦКП «Импульс»

<u>Дит</u> Н.Д. Малютин «<u>24</u>» <u>декая</u> 2019 г.

Томск 2019

Методика измерения профиля 3D пленок с помощью профилометра Profilm3D

Вводные данные

Изделия могут иметь различную шероховатость поверхностей, зависящую от способов их изготовления. Характеристики и параметры шероховатости поверхностей устанавливает ГОСТ 2789–73, требования которого распространяются на поверхности изделий независимо от их материала и способа изготовления (исключение составляют ворсистые, пористые и аналогичные поверхности). Согласно стандарту ГОСТ 2789–73 под шероховатостью поверхности понимают совокупность неровностей поверхности с относительно малыми шагами, выделенную с помощью базовой длины (рисунок 1).



Рисунок 1 – Параметры шероховатости

Базовую длину стандарт определяет как длину базовой линии, используемой для выделения неровностей, характеризующих шероховатость поверхности. Базовая линия имеет идеальную геометрическую форму, соответствующую номинальному профилю рассматриваемой поверхности. Она может быть прямой, дугой окружности или иметь иную форму, которая определяется нормальным сечением номинальной поверхности плоскостью. Шероховатость поверхности описывают характеристиками и параметрами микронеровностей профиля, получаемого сечения реальной путем поверхности плоскостью, направленной по нормали к ней. В случае, когда к реальной поверхности может быть проведено множество нормальных секущих плоскостей, выбирают сечение, имеющее максимальные параметры шероховатости, если направление измерения шероховатости не оговорено специально. На практике чаще всего применяются следующие параметры (таблица 1).

Термин	Обозначение	Определение		
1	2	3		
1. Базовая длина	l	Длина базовой линии,		
		используемая для выделения		
		неровностей,		
		характеризующих		
		шероховатость поверхности		
2. Средняя линия профиля	т	Базовая линия, имеющая		
		форму номинального		

Таблица 1. Измеряемые параметры шероховатости

2

		профиля и проведенная так, чтобы в пределах базовой
		длины
		среднеквадратическое
		отклонение профиля до этой
		линии было минимально
3. Средний шаг неровностей	S_m	Среднее значение шага
профиля		неровностей профиля в
		пределах базовой длины
4. Средний шаг местных	S	Среднее значение шага
выступов профиля		местных выступов профиля
		в пределах базовой длины
5. Высота неровностей	R_z	Сумма средних абсолютных
профиля по десяти точкам		значений высот пяти
		наибольших выступов
		профиля и глубин пяти
		наибольших впадин
		профиля в пределах базовой
		длины
		$Rz = \frac{\sum_{i=1}^{S} ypmi + \sum_{i=1}^{S} yumi }{S},$
		где <i>урті</i> – высота <i>і</i> -го
		наибольшего выступа
		профиля: <i>vumi</i> – глубина <i>i</i> -й
		наибольшей впадины
		профиля
6. Наибольшая высота	R _{max}	Расстояние между линией
профиля		выступов профиля и линией
		впадин профиля в пределах
		базовой длины
7. Отклонение профиля	У	Расстояние между любой
		точкой профиля и средней
		линией
8. Среднее арифметическое	R_a	Среднее арифметическое из
отклонение профиля		абсолютных значений
		отклонений профиля в
		пределах базовой длины
		$Ra = \frac{1}{l} \int_{0}^{l} y dx,$
		$Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} y ,$
		где <i>l</i> – базовая длина; <i>n</i> –
		число выбранных точек
		профиля на базовой длине.

Выполнение измерений

После ознакомления с инструкцией по эксплуатации профилометра Profilm3D измерение выполнить в следующей последовательности.

Получение изображения

Фокусировка Profilm3D

Разместить образец на столике и выполнить фокусировку на нем. Это действие выполняется при помощи элементов управления перемещения по оси Z, расположенных под вкладкой «Режим реального времени», или нажатием на кнопку «Автофокусировка».

Как правило, для корректной настройки фокусировки рекомендуется использовать опцию грубой фокусировки (двойные стрелки), а уже потом применять функцию автофокусировки. В качестве альтернативы, фокусировка может быть выполнена при помощи элементов управления как грубой фокусировкой, так и тонкой фокусировкой (одна стрелка). Если фокусировка выполнена должным образом, система интерференционных полос будет отчетливо различима на образце (рисунок 2,а).



а



б

Рисунок 2 – Образец, находящийся в фокусе, но с низкой гладкостью

Если выполняется фокусировка на внутренней части образца, на изображении, в режиме реального времени, могут появиться красные пиксели. Это говорит о том, что происходит перенасыщение спектрометра. Чтобы этого не возникало, необходимо либо активировать опцию «Автоэкспонирования», либо уменьшить интенсивность источника света при помощи ползунка. Обычно, в целях достижения наилучшего результата, для экспонирования рекомендуется использовать фиксированные значения. Для корректного экспонирования необходимо сначала выполнить фокусировку на образце до тех пор, пока в поле обзора камеры не появится несколько интерференционных полос. Затем необходимо активировать опцию «Автоэкспонирование», если она не была активирована ранее. Необходимо установить интенсивность источника света. Когда в поле зрения камеры не будет отображаться красных пикселей, нужно дезактивировать опцию «Автоэкспонирование», ехононирование, чтобы установить необходимое значение для экспонирования.

Для образцов с широким динамическим диапазоном может возникнуть необходимость «Автоэкспонирования» активации опции на протяжении всего сканирования. Ширина интерференционных полос служит индикатором текущей гладкости поверхности. Для наклонных поверхностей характерны более узкие интерференционные полосы, для плоских - более широкие. Например, вышеприведенное изображение имеет высокую степень наклона. Для получения более качественного

отсканированного изображения, его необходимо отрегулировать при помощи настроек края/наклона.

Регулировка высоты/наклона

После размещения образца на столике и выполнения фокусировки выровнить предметный столик, чтобы поверхность образца относительно объектива была настолько ровной, насколько это возможно. Для этих целей в Profilm3D имеется механизм регулировки края/наклона, встроенный в предметный столик и состоящий из двух регулировочных ручек, одна из которых расположена на переднем краю столика, другая - на правом. При помощи этих ручек можно поднимать и опускать столик, закрепленный на опорной точке, расположенной по центру. Вращая регулировочные ручки по часовой стрелке, можно опустить соответствующий край столика. Поднять столик можно, вращая эти ручки против часовой стрелки. Наиболее подходящим местом для ровного расположения образца является центр столика, расположенный строго напротив опорной точки.

Необходимо выбрать одну из регулировочных ручек и вращать ее до тех пор, пока интерференционные полосы не выстроятся в строго вертикальном положении. После каждой регулировки необходимо повторно выполнять фокусировку, так как при каждом повороте ручки положение столика относительно объектива изменяется. Если ручка поворачивается по часовой стрелке, фокусировку необходимо выполнить ниже того положения, в котором она была установлена ранее, и против часовой стрелки, если выше.



Рисунок 3 – Пример сильно наклоненного образца

На рисунке 4 показано корректное положение регулировочной ручки переднего Если интерференционные полосы столика. приняли строго вертикальное или горизонтальное положение и выровнялись по оси, дальнейшей регулировки при помощи данной ручки не требуется. Начните регулировку при помощи следующей ручки, чтобы увеличить ширину интерференционных полос. Фокусировку на образце необходимо выполнять при помощи элементов управления для тонкой фокусировки, уделяя внимание направлению, в котором перемещаются интерференционные полосы, для того чтобы определить направление вращения. Например, если, как указано на рисунке 3, интерференционные полосы перемещаются из правой части изображения в левую, то это свидетельствует о том, что правая сторона столика находится выше левой. Чтобы отрегулировать ее, нужно повернуть ручку, расположенную с боковой стороны столика, чтобы поднять правый край и выровнять образец. Так же, как и в случае с первой ручкой,

после каждой регулировки, выполненной при помощи второй ручки, необходимо выполнять повторную фокусировку, соблюдая аналогичные инструкции для определения направления фокусировки (по часовой стрелке - ниже, против часовой стрелки - выше).



Рисунок 4 – Изображение образца после применения регулировки края/наклона

На рисунке 4 изображен образец, сглаженный при помощи регулировки края/наклона. Для гладких, плоских образцов имеется возможность их выравнивания таким образом, что на экране не появляется искажения интерференционных полос, только минимальное (изображение практически черное) или максимальное (изображение практически черное) или максимальное (изображение практически белое) на всем поле изображения. Для не плоских образцов, таких как сферы, цилиндры, шероховатые поверхности, интерференционные полосы не могут быть строго вертикальными или горизонтальными. В таких случаях для определения направления, в котором следует переместить столик, нужно использовать относительное перемещение по изображению, получаемому с камеры. Когда образец на изображении будет плоским, можно приступать к сканированию. Если область сканирования больше чем поле зрения объектива, для автоматической регулировки сканирования необходимо активировать опцию «Настройки сетки сканирования». В обратном случае, выбрать пункт «Сбор данных»

Сбор данных

Используется следующая программа для высоты шага SHS-CrOnSi-10 мкм и называется «Высота шага».

Выбрать программу «Высота шага», щелкнув по всплывающей стрелке, находящейся рядом с пунктом «Программа сканирования и анализа». Затем выбрать из списка «Высота шага». При необходимости, просмотреть и отрегулировать настройки сканирования, таким образом, чтобы они совпадали с настройками, указанными ниже, затем нажать «ОК» для подтверждения настроек:

- Измерение: WLI;
- Скорость сканирования: Нормальная;
- Приближение: 4х;
- Удаление: 15 мкм;
- Длина сканирования: 30 мкм;
- Средние значения сканирования: 1;
- Настройки WLI: Центроид;
- Постобработка: Отсутствует.

Для начала сбора данных необходимо нажать «Пуск». По мере выполнения сканирования интерференционные полосы должны перемещаться по образцу. Процесс сканирования можно отслеживать при помощи индикатора, расположенного над окном с изображением. По завершении сканирования откроется новая вкладка с результатами сканирования.

Настройка сетки сканирования

В некоторых случаях для выполнения измерения может потребоваться область большего размера, чем поле зрения объектива Profilm3D. В таком случае нужно использовать опцию «Сетка», чтобы для анализа или дальнейшего сшивания выбрать более крупную область.

Определить область сканирования при помощи диалогового окна «Параметры сетки», открыть которое можно в пункте «Программа для сканирования и анализа», нажав на кнопку «Редактировать». Затем щелкнуть мышкой по окошку, расположенному напротив опции «Сетка», а потом – по кнопке «Детали». В открывшемся окне нужно ввести необходимый размер для сканирования и процент перекрытия между отдельными отсканированными предложениями. Сшивание нескольких отсканированных отображений: для получения наилучших результатов рекомендуемое перекрытие должно составлять 20% (рисунок 5).

🔹 Grid Details							
Overall width:	3	mi					
Overall height:	2	mı					
Overlap:	20	%					
Folder for savin	g scan re	sul					
C:\Users\Ran	dy\Docu	me					
File type: Film	etrics Sca	in (
Estimated	time: Nal	NS					
-	# Scans:						
OK	С	an					

Рисунок 5 – Параметры сетки

После ввода значений, программное обеспечение выполнит оценку количества сканирований и времени, необходимого для применения опции «Сетка». В конце нужно выбрать расположение файлов и тип файлов, которые будут использованы для сохраненных сканирований.

По завершении сканирования программное обеспечение будет сохранять файлы в выбранную папку. Можно использовать любой тип файлов. Для программного обеспечения, произведенного сторонними производителями, например, в случае таких как DigitalSurf's MountainsMap, нужно использовать файлы формата .sur. Для сохранения изменений нажать «OK». Нажать кнопку «Пуск».

Profilm3D начнет наносить сетку, приняв текущее положение в качестве центральной точки итогового расположения сетки.

Сшивание нескольких сканирований

Для измерения образцов, размер которых превышает область изображения объектива, в Profilm предусмотрена дополнительная функция («Сшивание UPG»), позволяющая сшивать несколько сканирований в одно изображение. Для получения сшитого изображения необходимо следовать инструкциям, приведенным ниже.

1. Получение сканированных изображений: перед сшиванием итогового сканирования необходимо сформировать отдельные части изображения. Это может быть выполнено при помощи опции «Сетка» или при помощи расположения образца на столике и получения нескольких сканирований вручную. При получении данных вручную необходимо оставить некоторое перекрытие между сканируемыми изображениями (рекомендуемое - 20%) для успешного выполнения сшивания.

2. Открыть диалоговое окно «Сшивание»: в Главном меню выбрать «Сшить...».

3. Выбор отсканированных изображений: выбрать отсканированные изображения нажав кнопку «Добавить». Выбрать сразу несколько файлов можно, зажав кнопку Shift и щелкнув по первому и последнему файлу в списке, или зажав кнопку Ctrl и щелкнув по необходимым отсканированным изображениям.

4. Удаление нежелательных отсканированных изображений: некоторые отсканированные изображения могут не понадобиться для сшивания. Например, при сеточном поиске по круглому образцу может обнаружиться, что по углам изображения данные отсутствуют. Такие отсканированные изображения можно удалить при сшивании, нажав правую кнопку мыши на отсканированном изображении в окне «Поверхности для сшивания» и удалив одно изображение или все изображения в конкретной строке или столбце.

5. Настройка порядка сшивания: в зависимости от природы поверхности, изменение последовательности алгоритма сшивания может привести к лучшему итоговому результату. Необходимо выбрать пункт «Автоматически», чтобы программное обеспечение решило, какую процедуру использовать, или выбрать другой параметр сшивания по строкам или столбцам.

6. Активация оптимизации: нажать на соответствующий флажок в поле «Оптимизировать», чтобы программное обеспечение искало наилучшее перекрытие с использованием значения, выбранного в выпадающем списке; если флажок не активирован, будет использоваться стандартная процедура. Также можно выполнить корректировку наклона. Для просмотра итогового сшитого изображения необходимо нажать «Обновить...».

7. Установка обрезки: в поле «Результат» предлагается два варианта вывода данных: полный результат – «Поверхность результата» или обрезка по внутреннему прямоугольнику. При обрезке по внутреннему прямоугольнику программное обеспечение попытается найти наибольшую смежную область в сшитых данных, исключая при этом неизмеренные участки, которые могли образоваться при сшивании.

8. Вывод сшитого отсканированного изображения: для завершения процесса сшивания нажать «ОК». Сшитое отсканированное изображение отображается в новой вкладке и может быть сохранено в виде отдельного файла.

Просмотр и анализ изображения

Управление камерой трехмерного просмотра

По завершении сканирования создается новый трехмерный график. Управление трехмерной моделью выполняется при помощи следующих действий:

1. Для вращения изображения необходимо зажать левую кнопку мыши и перемещать курсор. Камера будет вращаться вокруг текущего положения курсора, обозначенного с помощью метки в окне просмотра трехмерного изображения.

2. Для панорамирования изображения необходимо зажать правую кнопку мыши и перемещать курсор.

3. Для уменьшения или увеличения необходимо использовать колесо мыши: чтобы приблизить - вращать вперед, чтобы отдалить - назад. Изображение увеличивается при наведении мыши на определенный пиксель.

Управление камерой посредством кнопок может быть активировано при помощи диалогового окна «Общие настройки трехмерного изображения», которое можно открыть, выбрав вкладку «Настройки дисплея» в строке «Анализировать». Эти кнопки отображаются в левом нижнем углу трехмерного изображения и могут быть использованы для поворота, панорамирования и масштабирования изображения (рисунок 6).



Рисунок 6 – Кнопки перемещения трехмерного изображения

При нажатии на кнопку «Показать шаг» на трехмерной модели будет отображен текущий выбранный при двухмерном сканировании шаг по высоте, но только в том случае, если была активирована функция «Шаг высоты» или «Срез». При нажатии на кнопку «Показать плоскость пересечения» будет отображено место, где плоскость высоты трехмерного изображения пересекается с измеренной поверхностью.

Программное обеспечение поддерживает технологию SpaceMouse[™] 3D для работы мышью с трехмерными изображениями. В верхнем правом углу трехмерного отсканированного изображения отображается начальный график XYZ для сохранения ориентации при перемещении по образцу. График привязан к переднему левому углу изображения образца, который соответствует нижнему левому углу двухмерного сканирования. Чтобы вернуться к этому представлению, необходимо нажать кнопку «Стандартное поле зрения камеры» для отмены изменений, примененных к трехмерной модели.

В диалоговом окне «Настройки трехмерного освещения» можно настраивать параметры освещения модели. Данные значения могут быть установлены по усмотрению пользователя, при внесении изменений изображение будет изменяться. Для возврата к настройкам по умолчанию (относительно камеры, азимут 0, подъем -45) необходимо нажать на кнопку «Стандартное положение освещения». Относительная интенсивность света регулируется при помощи бегунка «Интенсивность света». По умолчанию интенсивность света составляет 100%.

Срез

Инструмент «Срез» позволяет просматривать линейные профили без анализа данных. Инструмент «Срез» использует ту же методологию, что и функции «Шаг высоты - линия» и «Шероховатость линии». В середине отсканированного изображения рисуется горизонтальная линия. Необходимо удерживать клавишу мыши и перемещать линию или конечные точки для изменения размера или передвижения. При нажатии на конечные точки, активируется диагональный режим (рисунок 7).



Рисунок 7 – Пример среза линейного сегмента в диагональном режиме.

Шкала автоматически настраивается в соответствии с длиной сегмента в диагональном режиме.

Для переключения между другими режимами необходимо нажать стрелку раскрывающегося списка под кнопкой «Срез» или использовать команду клавиатуры для горизонтального (Ctrl+H) или вертикального (Ctrl+V) перемещения. Если плоскость среза проходит через некорректные данные, этот участок линейного профиля будет выделен серым цветом.

Размеры

Измерение линейных сегментов

Сначала необходимо добавить новую линию в двухмерном режиме, нажав кнопку «Размеры» под вкладкой «Анализ». Откроется новая боковая панель (рисунок 8).



Рисунок 8 – Боковая панель

Необходимо нажать на кнопку «Добавить линию», после чего будет добавлен новый линейный сегмент в окне двухмерного сканирования, как показано на рисунке 9.



Рисунок 9 – Линейный сегмент в двухмерном сканировании

Для измерения более одной характеристики одновременно необходимо нажать кнопку «Добавить линию» еще раз, чтобы нарисовать новый линейный сегмент, как показано на рисунке 10).



Рисунок 10 - Отображение нескольких линейных сегментов одновременно

Чтобы переместить линейный сегмент, необходимо нажать любую из конечных точек, обозначенных соответствующим номером над точками, и перетащить ее в нужное место. Конечные точки активного линейного сегмента выделены зеленым цветом. Невыделенные сегменты отображаются в фиолетовом цвете.

При размещении линейных сегментов результаты линейных измерений отображаются в окне «Измерения размеров» в боковой панели (рисунок 11).

Dimens ∡ Circ	sion Mea les	suremer	nts						
	Delete	Delete Name Diameter (µm)							
∉ Line	5								
	Delete	Name	Δx (µm)	Δy (µm)	Δz (µm)	Length (µm)			
	×	L1	0	71.03	0.26733	71.03			
	×	L2	110.98	3.55	1.9524	111.04			

Рисунок 11 – Таблица измерений размеров

Результаты изменения в положениях x, y, и z, a также общая длина линейного сегмента отображаются в единицах, ранее выбранных в меню «Личные настройки». Скрыть или показать результаты можно нажатием на стрелки управления, которые находятся рядом с полями «Круги» и «Линии» в окне «Измерения размеров». Чтобы удалить линейный сегмент, необходимо выбрать его, нажав кнопку «Удалить активную

линию» или красную кнопку «Х» рядом с именем сегмента под окном «Измерения размеров».

4.2.2.3.2. Круговые измерения

Нажать на кнопку «Размеры», чтобы открыть боковую панель настройки размеров, после чего нажмите «Добавить круг». Будет создан круг в центре двухмерного сканирования. Круг можно перемещать, щелкнув и перетащив его центральную точку, а также изменять его размеры, щелкнув и перетащив его внешнюю точку (рисунок 12).



Рисунок 12 – Измерение круга в двухмерном сканировании

При повторном нажатии кнопок «Добавить линию» или «Добавить круг» возможно отображение нескольких кругов или линейных сегментов одновременно. Чтобы удалить ненужные данные, необходимо выбрать сегмент или круг, который нужно удалить, затем выбрать «Удалить активную линию» или «Удалить активный круг» или нажать на красную кнопку «Х» рядом с именем сегмента под окном «Измерения размеров».

Выбранные линии и круги выделяются зеленым цветом. Диаметр круга отобразится в таблице Измерения размеров (рисунок 13).

Dimension Measurements									
[Delete Name Diameter (µm)								
	×	C1	37.36						
⊿ Line	s								
	Delete	Name	Δx (µm)	Δy (µm)	Δz (µm)	Length (µm)			
	×	11	0	71.03	0.26733	71.03			

Рисунок 13 – Таблица измерений размеров

Шаг высоты

Измерение линии

Измерение высоты шага по линии представляет собой трехэтапный процесс:

- 1. Определение участка образца, для которого необходимо выполнить измерение.
- 2. Выбор точки усреднения.
- 3. Определение положение шага.

Для активации измерения по высоте шага необходимо нажать на кнопку «Высота шага» под вкладкой «Анализ» ленты «Анализировать». Откроется боковая панель, на которой будут отображены три вкладки: «Линия», «Прямоугольник», и «Гистограмма». Необходимо выбрать вкладку «Линия». Пример линейного графика с точками усреднения, расположениями высоты шага и впадинами представлен на рисунке 14.



Рисунок 14 – Пример линейного графика с точками усреднения, расположениями высоты шага и впадинами

Для выбора области измерения необходимо нажать на кнопку «Вид сверху», расположенную в верхнем левом углу окна сканирования. Текущее выбранное расположение отмечено красной линией, проходящей через образец. По умолчанию эта линия начинается в центре окна сканирования «Вид сверху»; измерения проходят горизонтально вдоль образца. Один из концов линии отмечен зеленой точкой, другой красной. Чтобы переместить измерительную линию, необходимо щелкнуть в разных местах в верхнем окне или нажать и перетащить красную полосу.

Для перехода в диагональный режим необходимо щелкнуть по обеим точкам, расположенным на концах. При перемещении места измерения нажатием на экране «Вид сверху» отобразится линейный график для данной области в соответствующем окне. Необходимо изменить направление на вертикальное с помощью диалогового окна «Расположение профиля линии» или, нажав сочетание клавиш Ctrl+V на клавиатуре. Далее нужно выбрать диагональную опцию, затем переместить начальную и конечную точки для настройки самоопределяемого пути, по которому будут выполняться измерения высоты шага, настроенные таким образом, чтобы соответствовать необходимым элементам.

Масштаб графика изменится, исходя из длины линии. Необходимо усреднить данные используя точки усреднения в функции «Высота шага», затем нажать «Перейти к этапу 2». Если данные уже были усреднены при помощи функций «Выравнивание» или «Сглаживание», расположенных на вкладке «Дополнительные элементы управления для программ», необходимо нажать «Пропустить усреднение и перейти к 3 этапу». Настройка точек усреднения выполняется при помощи их размещения на «Профиле линии», который отображается в нижнем левом углу окна сканирования. Существует две точки, L₁ и L₂, обозначенные красными вертикальными линиями И окруженные розовыми прямоугольниками. Красная линия обозначает расположение точки усреднения. Прямоугольники показывают область вокруг точки усреднения, которая используется для определения средней высоты. Для определения ширины прямоугольника, необходимо нажать на кнопку «Параметры», расположенную на боковой панели под пунктом Этап 2.

Более широкий диапазон обычно используется для более шероховатых поверхностей. Необходимо переместить точки усреднения, нажав на красную линию и перетащив ее. Далее расположить точки усреднения таким образом, чтобы они находились в одной плоскости поверхности и расстояние между ними было настолько большим, насколько это возможно. После того, как будет выбрано необходимое расположение, необходимо нажать «Применить усреднение и перейти к 3 этапу».

В конце необходимо установить расположение высоты шага. Данная функция работает по аналогии с функцией усреднения, но вместо расположения обеих точек в одной плоскости образца одна точка размещается в нижней части шага, а вторая – в верхней. Чтобы определить ширину точек высоты шага, нужно нажать на кнопку «Параметры».

При активации функции «Измерить ширину элемента» будет выполняться поиск объектов определенных типов (выступов и впадин) для определения их ширины. Если в исследуемой области находится более одного элемента, необходимо использовать среднее значение ширины элемента. Чтобы изменить точку выполнения анализа ширины, необходимо поменять пороговый процент (0 – наименьшее значение, 100 – наибольшее).

Опция «Материалы» позволяет активировать функцию несхожих материалов, применяемую для устранения ошибок при измерении высоты шага, возникающих вследствие сдвигов фаз в отражательной способности различных материалов. Эта функция полезна, если, например, выполняются измерения образца из стекла, покрытого металлической пленкой, к примеру алюминиевой. Из-за фазового сдвига, возникающего вследствие различной отражающей способности поверхностей, программное обеспечение может некорректно расположить верхнюю часть шага относительно образца. Активирование функции «Несхожие материалы» позволяет устранить данную проблему при помощи расчета точного значения высоты шага. При применении данной функции необходимо убедиться в том, что точка высоты шага соответствует материалу. Относительно примера, указанного выше, для точки S₁ должен быть выбран параметр «алюминий» для верхней части шага, а для точки S₂ должен быть выбран параметр «диэлектрик», наиболее подходящий для стеклянных образцов. После того, как обе точки будут установлены в необходимых положениях, необходимо нажать «Завершить» для отображения результатов измерения высоты шага и впадины, если данная функция была активирована.

Измерение прямоугольника

Инструмент «Прямоугольник» используется для измерения средней высоты шага в заданной пользователем области, а не в одной точке. Нужно нажать на кнопку «Высота шага», чтобы открыть боковую панель, а затем на вкладку «Прямоугольники».

Программное обеспечение обнаружит местоположение шага, выделенного белой и красной пунктирной линией, проведенной при двухмерном сканировании (рисунок 15).



Рисунок 15 – Пример измерения прямоугольника

Если программное обеспечение определяет линию неправильно, необходимо изменить анализируемую область, щелкнув и перетащив контуры желтого окна. Необходимо максимально увеличить границы окна, определяя при этом правильное расположение шагов. Выполнение данного шага предоставит максимальный объем данных для анализа, что пригодится в дальнейшем. Далее нужно щелкнуть по кнопке «Далее», расположенной на боковой панели, появятся два окна, обозначенные цифрами 1 и 2 соответственно. При необходимости данные окна могут быть перемещены и изменены внутри определенной области. Поскольку данные окна одинаковы, любое изменение, внесенное в одном окне, немедленно отражается в другом. Окна не могут быть больше размера пространства, определенного пунктирной линией и внешними краями, поэтому на предыдущем шаге рекомендуется создать наибольшую область. Сканирование также можно выровнять, используя области прямоугольников. Необходимо нажать «Параметры», чтобы открыть диалоговое окно «Параметры высоты шага прямоугольника». Далее необходимо установить флажок для включения выравнивания поверхности, используя прямоугольник в качестве опорной поверхности. В данном диалоговом окне также доступны разнородные материалы.

По завершении значение для средней высоты шага отобразится в поле «Итоговая высота шага».

Измерение гистограммы

Режим высоты шага гистограммы может использоваться для измерения множества различных образцов, например, с несколькими высотами шага или с образцами, которые не имеют четко определенного края шага. Несмотря на то, что этот инструмент универсален, он является самым сложным из трех методов высоты шага. Чтобы активировать режим гистограммы необходимо щелкнуть по кнопке «Высота шага», расположенной ниже пункта «Анализ» строки «Анализировать», откроется боковая панель с указанием высоты шага. Чтобы начать, нужно нажать на «Гистограмма». После выбора программа представит гистограмму для текущего сканирования (рисунок 16).



Рисунок 16 – Гистограмма для текущего санирования

На данном графике показано распределение точек среди данных по высоте.



Рисунок 17 – Пользовательская калибровка установки для резки

Пример на рисунке 17 – пользовательская калибровка установки для резки. При проникновении в образец, большинство точек опускаются до уровня 60 микрон (верхняя часть образца) с небольшими группами, равными 10 микрон. Первой из этих настроек является «Минимальная относительная частота», которая выделена вертикальной строкой красного цвета. Чтобы значение высоты было идентифицировано как область гистограммы, оно должно достичь указанного минимального уровня. Необходимо установить данное значение, введя число в текстовое поле или перетацив красную строку.

Далее указано «Количество ячеек», которое определяет, сколько гистограммных групп находится на графике. Большое число может использоваться для более точного ввода в секциях с более быстро меняющимися высотами, в то время как меньшее количество предназначено для скрытия шума от более грубых поверхностей. При вводе любого значения свыше 160 программа вернется к непрерывному режиму с максимальным разрешением. «Изменение минимальной высоты» предназначено для изменения ширины групп гистограмм. Чем выше значение, тем область гистограммы должна быть больше для того, чтобы стать группой. Используя пример слева, изменение в 1% дает результаты, показанные на рисунке 2.17. Увеличение этого значения до 5% исключает каждую группу, за исключением G1, G5 и G7, а при увеличении до 10% останется только G7. При разделении и определении областей каждая из них будет помечена разными цветами как на гистограмме, так и на двухмерном графике внутри гистограммы. Это облегчит просмотр изменений по мере их применения. Если области определены, будет доступно множество различных точек данных.

Первым будет предоставлен список средних высот для каждого уровня относительно текущей выбранной исходной точки. Под двухмерным графиком будут расположены две таблицы. В первой таблице будут указаны средние высоты для каждой группы по сравнению со всеми другими доступными группами. Во второй таблице будет перечислена основная информация о каждом из слоев: средняя, минимальная и максимальная высота поверхности, азимут и наклон плоскости поверхности. Данные из этих таблиц могут быть скопированы в другие программы при помощи нажатия правой кнопки мыши.

Шероховатость области

Чтобы активировать данную необходимо опцию, щелкнуть по кнопке «Шероховатость области» в пункте «Анализ», расположенном на вкладке «Анализировать». После нажатия откроется боковая панель «Шероховатость области», которая будет содержать элементы управления для этой функции. Сначала определите область для измерения шероховатости. Доступно две опции: «Целое изображение» или «Ограниченная часть». При выборе опции «Ограниченная часть» желтое окно в «Вид сверху» будет отображать анализируемую в данный момент область. Данное окно можно перетащить, щелкнув на его центр и переместив его, также можно изменить размер данного окна, щелкнув по одному из его краев или углов и переместив их. После того, как область будет определена, будут отображены значения для нескольких различных параметров, которые перечислены ниже. При измерении шероховатости рекомендуется сначала выровнять поверхность с помощью инструментов «Выравнивание» или «Сглаживание», применить «Фильтр», а затем выполнить анализ шероховатости. Необходимо выбрать какие из параметров будут отображены, щелкнув по кнопке «Настройки», расположенной на боковой панели. В диалоговом окне «Параметры области шероховатости» необходимо установить флажок, чтобы включить или отключить нужные параметры. Чтобы отключить или включить все параметры, нужно установить флажок рядом с опцией «Все параметры». Данные измерения могут быть скопированы при помощи выбора как отдельных строк, так и таблицы целиком. Чтобы выбрать несколько строк, нужно нажать клавишу мыши и, удерживая ее, выбрать необходимый диапазон; удерживая клавишу Ctrl, выбрать отдельные строки, или удерживать нажатой клавишу Shift, чтобы выбрать все строки подряд. Нужно щелкнуть правой кнопкой мыши по любому месту таблицы «Шероховатость области», чтобы открыть всплывающее меню и выбрать необходимую опцию.

Шероховатость линии

Подобно параметрам двухмерного анализа, данную функцию необходимо активировать, нажав кнопку «Шероховатость линии» в разделе «Анализ» ленты «Анализировать». Откроется боковая панель «Шероховатость линии». Программа нарисует линию по изображению «Вид сверху», указывая, что в данный момент вычисляется местоположение данных сканирования. По умолчанию данная линия будет расположена горизонтально по центру отсканированного изображения. Для чередования горизонтальных, вертикальных или диагональных сегментов линии, необходимо использовать переключатели в разделе «Расположение профиля» на боковой панели или переключаться между горизонтальным и вертикальным сегментом, используя команды Ctrl + H и Ctrl + V соответственно. При нажатии на центр линии, ее можно при необходимости переместить по оси х или у, а при нажатии на конечные точки, она переключится в диагональный режим. Кнопка «Настройка» работает так же, как и в

17

инструменте «Шероховатость области», при этом флажки используются для выбора отображаемых параметров. Кроме того, опция «Настройки параметров профиля» влияют на расчет результирующих значений. Первым необходимо использовать метод «Фильтрация»; по Гауссу, метод полиномиальной кривой ($\beta = 0,625242$) и метод полиномиальной кривой ($\beta = 0$). Затем установить значения для отсечки длины волны, которая будет использоваться для фильтра. Доступные значения будут рассчитываться на основе загруженного сканирования (таблица 1). Правильное значение будет зависеть от требований, однако таблица, взятая из ASME B46.1 2D, может дать приблизительную ориентировку в зависимости от ожидаемой шероховатости поверхности.

Шероховатост	Отсечка			
Rz (мкм)	Ra (мкм)	Rz (мкдм)	Ra (мкдм)	λ。 (мкм)
< 0,025 - 0,1	.0,006 - 0,02	.1 - 3,9	>0,24 - 0,79	80
0,1 - 0,5	0.021	3,9 - 19,7	0,79 - 3,9	250
.5 - 10	.1 - 2	19,7 - 393,7	3,9 - 78,7	800
10 - 50	2 - 10	393,7 - 1969	78,7 - 393,7	2500
50-200	10-80	1968,5 - 7874	393,7 - 3149,6	8000

Таблица 1. Д	оступные	значения	шероховатости	И	отсечки
--------------	----------	----------	---------------	---	---------

На последнем этапе необходимо установить «Количество образцов» для использования. По умолчанию это значение будет установлено на «Максимальное количество образцов», но может быть изменено на определенное пользователем значение.

Используемое число относится к числу сегментов, на которые будет разбита выбранная линия, в зависимости от выбранной длины отсечки. При активации параметра «Пользовательское значение» будет использоваться меньшее число или максимально доступное количество выборок. Данные могут быть скопированы как при помощи выбора отдельных строк, нескольких строк или целой таблицы, для этого необходимо щелкнуть правой кнопкой мыши по таблице.

Коэффициент плотности

Кривая коэффициента плотности является интегралом функции распределения амплитуды, используемой для количественного определения отношения материала к воздуху на сканируемой поверхности. Это свойство имеет несколько различных названий: Кривая Эббота-Файрстоуна; Кривая Эббота; Кривая опорной поверхности; Кривая коэффициента использования материала. Все эти названия обозначают одно и то же значение. Необходимо представить, что оно по диагонали проходит через сканирование на заданной глубине. Каким будет отношение материала к воздуху? Например, на рисунке 18 синяя линия указывает плоскость глубины, равную 0 мкм. Плоскость, изображенная на данной высоте, состоит из 100 процентов воздуха, так как на этой высоте нет материала.



Рисунок 18 – Пример кривой коэффициента плотности: Оценка качества установки для резки

Однако плоскость, расположенная на глубине 20 мкм и отображенная красной линией, состоит из смеси материала и воздуха. Чтобы вычислить это отношение, необходимо взять сумму длин материала (L1, L2, L3 ...) и разделить её на общую длину сканирования. На данной глубине оно достигает примерно 84%. Чем глубже, тем больше отношение приближается к 100%, и в этом случае оно происходит примерно в 66 мкм от нижнего разреза (желтая линия).

Помимо кривой коэффициента плотности данная функция также может отображать функцию гистограммы. Ниже на рисунке 19 приведен пример гистограммы из одного и того же сканирования.



Рисунок 19 – Пример гистограммы сканирования

В качестве функции выбранной шкалы z гистограмма показывает, сколько точек попадает в заданный диапазон толщины. Ширину диапазонов (ячеек) можно

контролировать, нажав на раскрывающееся меню на кнопке «Коэффициент сдвига» и выбрав опцию «Настройки» (рисунок 20).

💝 Histogram Bin Settings	\times
Continuous Histogram	
Bin width 3.418	μm
Number of bins 20	
Use Default OK	Cancel

Рисунок 20 – Настройки гистограммы

Значения могут вводиться с помощью заданной ширины или количества ячеек. При внесении изменений в любое значение будут также обновляться другие значения (например, для всего диапазона 10 мкм изменение количества ячеек от 2 до 5 изменит ширину ячейки с 5 мкм до 2 мкм). При выборе значения «Использовать по умолчанию» будет установлено 20 ячеек. При использовании непрерывной гистограммы будет установлено 512 ячеек. Ячейки могут быть расположены горизонтально (значения высоты по оси Y, частота по оси X) или вертикально (как показано выше с высотой по оси X, частотой по оси Y). Для переключения между ними щелкните правой кнопкой мыши на окне графика и выберите из появившегося выпадающего меню.

Объем

В программе Profilm «Объем» – это измерение материала выше наиболее оптимальной плоскости (углублений) и ниже оптимальной плоскости поверхности (отверстия) в пределах определенного многоугольника. Необходимо нажать на изображение «Вид сверху» и добавить минимум 3 вершины для создания нового многоугольника. Чтобы удалить все вершины, нужно выбрать опцию «Удалить все вершины», или «Удалить последнюю вершину», чтобы удалить последнюю добавленную вершину. Далее необходимо нажать «Готово», чтобы нарисовать плоскость. При этом отображаются общий объем всех углублений и отверстий относительно плоскости (рисунок 21).



Рисунок 21- (а) Вершины, помещенные на изображение «Вид сверху»; (б) Результат измерения объема

Чтобы изменить форму многоугольника необходимо нажать и потянуть любую вершину, или нажать «Назад», чтобы добавить или удалить дополнительные вершины.

Частицы/Зерна

Определяет и характеризует функции выше или ниже заданной высоты. Необходимо выбрать Частицы/зерна на ленте «Анализ», чтобы открыть боковую панель с элементами управления (рисунок 22).



Рисунок 22 – (а) Пример несмешивающейся полимерной смеси; (б) пример кривой «Частицы/зерна» для изображения слева, порог 100 нм

На боковой панели отображается двухмерная версия изображения в оранжевом и синем цветах. Цвет области определяется тем, находится ли область выше (оранжевая) или ниже (синяя) высоты плоскости, заданной пороговым значением. Необходимо отрегулировать это значение, щелкнув по ползунку и перетащив его или введя число в текстовое поле. При внесении изменений изображение будет обновляться. Кнопка «Настройки» открывает диалоговое окно «Настройки параметров частиц/зерен» (рисунок 23).

Particles / Grain	ns Parame	eter Settings $ imes$		
Particles / Grains I Above thresho Below threshol	Defined ld d	Options Exclude particles / grains touching edges		
Particle Info				
All Parameters	\checkmark]]		
Total number	\checkmark	Number of particles / grains		
Total area	✓	Coverage (%) of particles / grains		
Particle Stat	istics			
All Parameters	\checkmark]		
Include headers	✓	Display headers for statistics		
Area	\checkmark	Particle / grain area		
Perimeter	\checkmark	Boundary length of area		
Aspect ratio	\checkmark	Major to minor axis ratio		
Orientation	\checkmark	Major axis angle		
Roundness	\checkmark	(4 Area) / (π Dmax ²)		
Form factor	\checkmark	(4 π Area) / (Perimeter ²)		
	OK Cancel			

Рисунок 23 – Настройки параметров частиц/зерен

Например, на рисунке 2.23 указаны значения для трехмерного изображения, которое было показано до этого. «Информация о частицах» показывает, что для плоскости, изображенной при 100 нм (пороговое значение), 201 частица составляет 25,77% от общей площади поверхности. «Статистика частиц» опровергает это, вычисляя «Периметр», «Соотношение значения для параметров «Область», значений», «Положение», «Округлость» и «Коэффициент формы» этих частиц. Также включены определения каждого из этих значений. Необходимо выбрать анализ функции выше или ниже порогового значения, и должны ли частицы/зерна, касающиеся края изображения, быть включены для анализа. Нужно выбрать, какие параметры необходимо отобразить в таблицах «Информация о частицах» и «Статистика частиц», если таковые имеются. В диалоговом окне под двухмерным изображением расположены три таблицы: «Информация о частицах», «Статистика частиц» и «Отдельные частицы/зерна». Информация и статистика предоставляют суммарные значения для каждой анализируемой функции на основе выбранных параметров, в то время как отдельные значения относятся к конкретным функциям. Например, на рисунке 24 указаны значения для трехмерного изображения, которое было показано до этого. «Информация о частицах» показывает значения для плоскости, изображенной при 100 нм (пороговое значение). 201 частица составляет 25,77% от общей площади поверхности. «Статистика частиц» опровергает это, вычисляя значения для параметров «Область», «Периметр», «Соотношение значений», «Положение», «Округлость» и «Коэффициент формы» этих частиц. Также включены определения каждого из этих значений.

Particle Info						
Total number	201			Number of particles / grains		
Total area	25.77		%	Coverage (%) of particles / grains		
Particle Stat	Particle Statistics					
Parameter	Mean	Stdev	Units	Description		
Area	12.45	9.663	μm²	Particle / grain area		
Perimeter	13.04	7.06	μm	Boundary length of area		
Aspect ratio	1.539	0.7769		Major to minor axis ratio		
Orientation	11.67	47.64	0	Major axis angle		
Roundness	0.6467	0.1694		(4 Area) / (π Dmax²)		
Form factor	0.9305	0.5629		(4 π Area) / (Perimeter ²)		

Рисунок 24 – «Информация о частицах» и «Статистика частиц» для несмешивающейся полимерной смеси.

«Отдельные частицы/зерна» отображают значения для каждой уникальной функции изображения. Необходимо щелкнуть по частице на двухмерном изображении, чтобы выделить ее на изображении (будет отмечена бирюзовым цветом) и в таблице (будет отмечена желтым цветом), или наоборот. Чтобы выбрать несколько функций, необходимо удерживать клавишу Ctrl и нажать на необходимые функции. Чтобы скопировать данные в буфер обмена, нужно щелкнуть правой кнопкой мыши по таблице. Во всплывающем окне можно выполнить копирование выбранных данных или всей таблицы (рисунок 25).

Individual Particles / Grains							
ID	Area (µm²)	Perimeter (µm)	Aspect ratio	Orientation (°)	Roundness	Form fa	
1	7.614	11.32	1.351	-7.59	0.6432	0.7467	\sim
2	14.82	15.81	1.434	82.08	0.6454	0.7455	
3	1.336	4.6	2.102	2.308	0.438	0.795	
4	22.28	17.9	1.173	-72.98	0.72	0.8741	
5	2.362	5.89	1.087	84.09	0.7115	0.8569	

Рисунок 25 – Первые пять результатов «Отдельные частицы/зерна» из несмешиваемой полимерной смеси.

Определение параметров анализа

Параметры области шероховатости

Программа Profilm способна измерять десять различных параметров области шероховатости, каждый из которых детально описывается ниже.

«Среднее значение» - средняя абсолютная высота поверхности образца в анализируемой области.

«Максимальное значение» - наибольшая абсолютная высота в выбранной области. Максимальное значение отличается от S_p (высоты пика), которая обозначает наивысшую точку от средней плоскости области образца. «Минимальное значение» - наибольшая абсолютная глубина в выбранной области. Максимальное значение отличается от глубины, которая обозначает наивысшую точку от средней плоскости в области образца.

«Диапазон значений» - разница между максимальным и минимальным значениями

«Sp - Высота пика» - наибольшее значение высоты пика от средней плоскости в области образца.

$$S_p = MAX\left(z(x_i, y_j)\right),\tag{1}$$

«*S_v* - Глубина впадины» - наибольшее значение глубины впадины от средней плоскости в области образца.

$$S_{v} = MIN\left(z(x_{i}, y_{j})\right), \tag{2}$$

S_z - Десятиточечная высота. Среднее расстояние между 5 наивысшими пиками и 5 наиболее глубокими впадинами. Область образца 3х3 учитывается для определения пиков и впадин. Числовое выражение данного алгоритма представлено ниже.

$$S_z = \frac{\sum_{i=1}^5 |z_{pi}| + \sum_{i=1}^5 |z_{vi}|}{5},\tag{3}$$

где Z_{pi} и Z_{vi} (*i*=1,2,3,4,5) - пять наивысших пиков и пять самых глубоких впадин.

«*S_a* - Среднее значение шероховатости» - наиболее важный параметр шероховатости поверхности. Это среднее арифметическое значение абсолютного расстояния точек поверхности от средней плоскости. Числовое выражение данного алгоритма представлено ниже.

$$S_a = \frac{1}{MN} \sum_{j=1}^{N} \sum_{i=1}^{M} |z| (x_i, y_i),$$
(4)

где *М* – количество колонок на поверхности и *N* – количество рядов на поверхности.

«*S_q* - Среднеквадратичное отклонение неровностей» - среднеквадратичное значение отклонений поверхности от средней плоскости в области образца. Числовое выражение данного алгоритма представлено ниже.

$$S_q = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{j=1}^{N} \sum_{i=1}^{M} z^2(x_i, y_j)},$$
(5)

где M - количество колонок на поверхности и N - количество рядов на поверхности. « S_q » - это общий и часто используемый параметр. В области статистики - это стандартное отклонение для образца.

 S_{sk} – коэффициент асимметрии. Коэффициент асимметрии измеряет симметрию изменения поверхности относительно средней плоскости. Гауссова поверхность с симметричной формой распределения высоты имеет коэффициент асимметрии «0». Выровненная поверхность с преобладанием плато и глубокими впадинами имеет тенденцию к отрицательной асимметрии, в то время как поверхность, состоящая из непропорционального количества пиков, будет иметь положительную асимметрию. Цифровое представление этого параметра показано ниже.

$$S_{sk} = \frac{1}{MNS_q^3} \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M Z^3(x_i, y_j),$$
(6)

где *М* - количество колонок на поверхности и *N* - количество рядов на поверхности.

Коэффициент эксцесса *S_{ku}* – мера пиковости и заостренности поверхности. Цифровое представление этого параметра показано ниже.

$$S_{ku} = \frac{1}{MNS_q^4} \sum_{j=1}^{N} \sum_{i=1}^{M} z^4 (x_i, y_j),$$
(7)

Гауссова поверхность имеет значение коэффициента эксцесса 3. Поверхность с распределением в центральной части имеет значение коэффициента эксцесса более 3. Поверхность с распределением по всей площади имеет значение коэффициента эксцесса менее 3. Используя комбинацию коэффициента асимметрии и коэффициента эксцесса, можно идентифицировать выровненные поверхности с относительно плоской вершиной, но при этом с глубокими впадинами.

Режимы сканирования

WLI – интерферометрия белого света

Интерферометрия белого света («WLI») - это режим сканирования, который использует белый свет и движение, перпендикулярное поверхности образца, для определения точного положения образца. Белый свет направляется от источника через специальный объектив интерферометра (интерферометр Миро или интерферометр Михельсона, используемый программой Profilm3D), который разделяет свет на два пучка, один из которых направляется на поверхность сканируемого образца, а второй - на опорное зеркало. Пучки света, возвращаясь на датчик с поверхности образца и опорного зеркала, вновь соединяются, но уже с изменением фазы. В результате сдвига фазы свет интерферирует сам с собой, в результате чего появляется характерное свечение и темные интерференционные полосы (интерференционная картина) на изображении. При точной настройке интерферометра точка наибольшего контраста между данными полосами соответствует наилучшей фокусировке. При движении сканирующего объектива вверх и вниз по поверхности образца интерференционные полосы перемещаются вместе с фокальной плоскостью, показывая таким образом расстояние до линз. На основе данных о перемещении интерференционных полос с фокальной плоскостью, высокоточной работы системы перемещения по оси z, датчика изображения, а также расширенного пакета программ, мы создаем трехмерные сканеры для Profilm3D.

PSI – интерферометрия сдвига фазы

Режим сканирования «PSI» (интерферометрия сдвига фазы) похож на режим «WLI», однако несколько их ключевых отличий позволяют проводить более точные измерения. Первым важным отличием является то, что режим «PSI» применяется на более узком диапазоне длины волны. Это достигается в программе Profilm3D благодаря оптическому фильтру, размещаемому на световом пути. В результате расширяется поверхность коррелограммы, определяемой на основе интерференционных полос. Следующим важным отличием является необходимость более высокого уровня гладкости

поверхности образца для интерферометрии сдвига фазы. Это связано со способом получения данных. При сканировании программа выводит изображение с некоторыми фиксированными интервалами, определяя высоту каждого пикселя в ряде кадров. В режиме сканирования «WLI» выбираются наилучшие значения интенсивности для каждого пикселя в различных кадрах, таким образом, для одного пикселя может использоваться значение из кадров, полученных в начале сканирования, в то время как для другого пикселя будет использоваться кадр, полученный в середине процесса сканирования Режим «PSI», напротив, сначала завершит сканирование, а затем также подберет определенный ряд кадров для каждого пикселя. В режиме сканирования «WLI» возможно наложение различных групп кадров друг на друга, приводящее к снижению точности измерений, что практически исключается при анализе «PSI». Несмотря на высокую точность данного режима, его эффективность снижается при обработке более широкого диапазона, поэтому режим «PSI» больше подходит для изображений с менее значительными изменениями высоты поверхности. Также он более чувствителен к поворотам/наклонам образца, поэтому необходимо аккуратно выравнивать образец на столике.

Комбинированное сканирование WLI/PSI

«Комбинированный режим сканирования «WLI/PSI» используется для увеличения верхней границы диапазона значений для режима «PSI» с трех микрон до десяти. Это достигается за счет учета совпадающих данных режимов «WLI» и «PSI» в одном положении и с использованием одинаковых настроек. Затем запускается режим сканирования «PSI» на основе данных высоты, определенных режимом «WLI».

Повышение отношения "сигнал-шум"

Функция «Повышение отношения "сигнал-шум"» использует методы подавления шума данных измеряемой коррелограммы перед сканированием. Данная функция повышает качество сканирования на менее ровных поверхностях, увеличивая тем самым время сканирования. Контроль функции «Повышения отношения "сигнал-шум"» осуществляется с помощью «Порогового значения». Данное значение выражает процентное отношение определенной амплитуды поверхности коррелограммы к общему диапазону измерения. Если определенная амплитуда коррелограммы ниже выбранного значения, высота данного пикселя будет отмечена как недопустимая.

Список использованных источников

1. ГОСТ 2789-73 Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики. – М.: Изд-во стандартов, 1974. – 6 с.