

- оформление Акта о вводе РМИ в эксплуатацию
- Для обеспечения качества выполняемых технологических операций при использовании механизированных технологий, в большей степени СП и ООТП, РМИ должен:
- соответствовать по своим техническим характеристикам и конструктивному исполнению значениям режимов и условиям выполнения технологических операций
 - быть закрепленным как за конкретным исполнителем, так и за конкретным СП и ООТП
 - периодически проходить контроль точности
 - быть идентифицированным и иметь оформленные по установленной форме графики проведения плановых работ по техническому обслуживанию и ремонту
 - храниться в инструментально-раздаточной кладовой и на рабочем участке в специально оборудованном месте
- При этом должны соблюдаться требования к квалификации исполнителей, выполняющих СП и ООТП, и срокам их периодической аттестации на право выполнения закрепленных за ними механизированных технологических операций.

Выводы

- В связи со спецификой авиационного производства объем работ с применением механизированных технологий на базе пневматических РМИ все еще достаточно велик.

УДК 621

Шмаров В.Н.

Национальный авиационный университет. Украина, Киев

ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОТРАЖЕНИЯ ШЕРОХОВАТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ С КРУПНОМАСШТАБНЫМИ НЕОДНОРОДНОСТЯМИ В ОПТИЧЕСКОМ ДИАПАЗОНЕ

Анотація

Розроблено установку для виміру ширококутних індикатрис розсіювання шорхуватих поверхонь і характеристик відбиття розсіюючих металевих і неметалевих поверхонь. Зроблено оцінку похибок вимірювання. Виконано експериментальні дослідження індикатрис зворотного відбиття шорхуватих поверхонь з великомасштабними неоднорідностями в діапазоні простірних кутів до 180°. Досліджено і характеристики відбиття алюмінієвих матеріалів із захисними покриттями.

Abstract

Design for measurement of wide angle diagrams of dispersion from rough surfaces and reflective abilities of disseminating metal and nonmetallic materials is developed. The estimation of errors of measurement is investigated. Experimental researches of return reflection

• Существующий рынок пневматического РМИ обширен (по типам и номенклатуре), что создает определенные трудности при выборе конкретной модели РМИ.

• Оценку и выбор РМИ необходимо производить профессионально и предпочтительно на основании его экспертизы, при этом технологическая приемлемость и эргономические показатели РМИ являются определяющими.

• Выбор РМИ должен производиться с учетом организации работ, конструкции и компоновки рабочего места, физических возможностей оператора.

• Обеспечение качества производства авиационной техники при использовании механизированных технологий в СП и ООТП (ООТО) требует реализации дополнительных требований к РМИ, связанных с его идентификацией, хранением, периодическим контролем точности, своевременным техническим обслуживанием и ремонтом, закреплением за конкретным исполнителем и технологическим процессом.

Литература

1. 35 лет на рынке высоких технологий/Под редакцией д.т.н. профессора Г.А. Кривова. – Киев: МИИВЦ, 1999. – С. 75–91.

2. ДСТУ В 3453-96 Авиационная техника. Обеспечение качества производства. Основные положения. – Киев: Госстандарт Украины, 1997.

diagrams of rough surfaces with large-scale discontinuities in a range of spatial angles up to 180° are executed. Reflective characteristics of aluminium materials with sheetings are investigated.

Введение

Измерение параметров крупногабаритных металлических промышленных изделий со сложной геометрической формой, наиболее широко используемых в машиностроении, авиационном, судостроении, транспортном машиностроении и в крупномасштабном строительстве представляет актуальную задачу приборостроения.

Такие задачи для диапазона измерения линейных величин до 1 м и ограниченного диапазона угловых величин решаются использованием специализированных координатных измерительных машин и оптических угломерных приборов [1, 2, 3].

Обеспечить измерение с высокой технологической точностью подобных изделий в диапазоне измерения

линейных величин более одного метра и (или) имеющих сложную геометрическую форму, включая наличие на поверхности впадин и выпуклостей, осевой (круговой) симметрии (асимметрии), традиционными методами измерений не представляется возможным. В этих случаях необходимо применять дистанционные методы измерений с использованием лазерных источников зондирования. В месте с тем следует помнить, что такие промышленные изделия обычно имеют шероховатую поверхность неровности которой h относятся к крупномасштабным ($h > \lambda$).

Дистанционные лазерные измерения базируются на регистрации отраженного от такой поверхности светового сигнала, интенсивность которого зависит от мощности зондирующего сигнала, формы диаграммы обратного отражения, чувствительности и угла зрения фото приемника, фиксирующего эхо сигнал. На подобных поверхностях эхо сигнал обычно формируется с широкой диаграммой (индикатрисой) обратного излучения. Часто индикатриса обратного отражения близка к круговой.

Измерению индикатрис рассеяния от различных поверхностей в узком диапазоне пространственных углов посвящено достаточно много работ, в том числе и работы [4, 5, 6].

В данной работе приведены результаты разработки установки и исследований на ней диаграмм обратного отражения шероховатых поверхностей с крупномасштабными неоднородностями с учетом поляризации зондирующего лазерного излучения.

Исследование широкоугольных индикатрис обратного рассеяния шероховатых поверхностей при зондировании их лазерным излучением.

При отражении света от сложных шероховатых металлических поверхностей с крупномасштабными неоднородностями сформированный обратный эхосигнал рассеивается на неровностях поверхности. В этом случае индикатриса обратного рассеяния занимает пространственные углы до 180° [7, 8, 9].

Для такого широкого диапазона углов трудно обеспечить требуемое соотношение сигнал-шум при фотоэлектронном методе фиксации эхосигнала из-за малой интенсивности рассеяния светового потока и конечных угловых размеров излучателя и приемного устройств. Кроме этого, необходимо обеспечить конструктивные требования по установке их по одной оси.

В данной работе описана установка, с помощью которой экспериментально исследованы индикатрисы эхосигнала в пределах полного угла обратного рассеяния при отражении лазерного излучения от различного типа шероховатых поверхностей.

В качестве источника излучения используется газовый лазер 1 (рис. 1) непрерывного действия ЛГ-35, работающий в многомодовом режиме с угловым расхождением около 2-х угловых минут. Длина волны света 632.8 нм, степень поляризации $0,998'$.

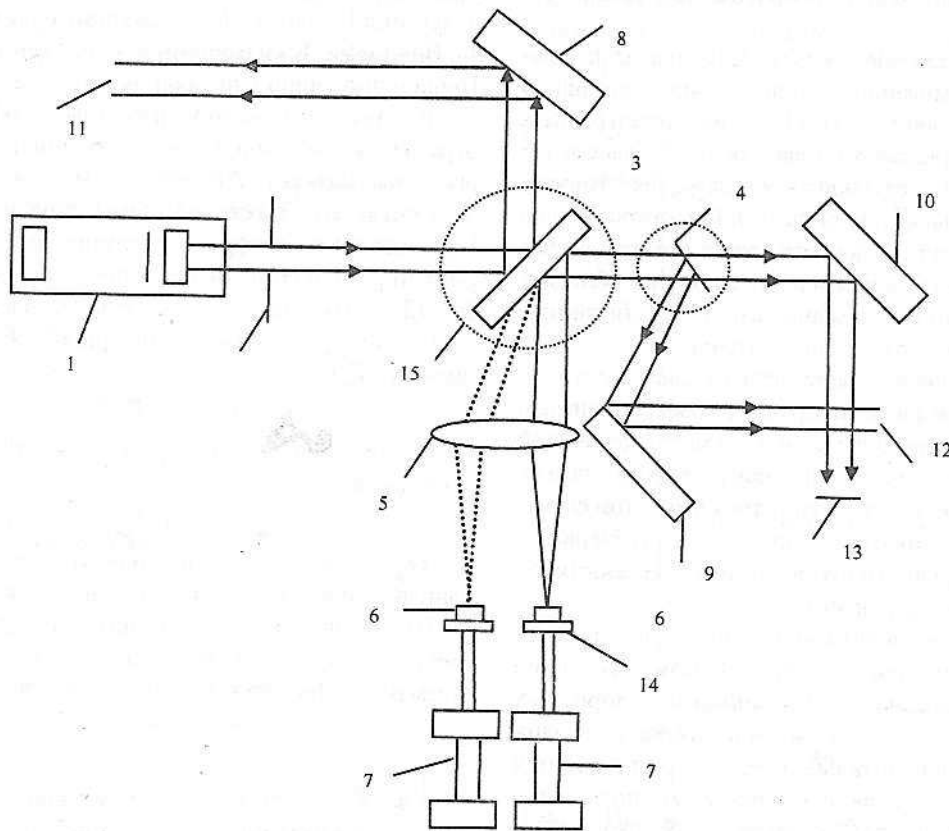


Рис. 1. Оптическая схема установки

1 – лазер ЛГ-35; 2 – ограничивающая диафрагма; 3 – стеклянная поворотная плоскопараллельная пластинка; 4 – поверхность оптической детали; 5 – объектив; 6 – диафрагма приемника; 7 – ФЭУ; 8, 9, 10 – нейтральные черные стекла; 11, 12, 13 – световые ловушки; 14 – нейтральные светофильтры; 16 – предметные столики.

Лазерное излучение с диаметром поперечного сечения около 5 мм проходит через модулятор, ограничивающую диафрагму 2 и стеклянную плоскопараллельную пластину 5, расположенную под углом 45° к нему, и затем освещает исследуемую поверхность 4.

Для удобства проведения измерений конструктивно оптические элементы расположены так, что контролируемую поверхность можно располагать под любым углом к зондирующему лазерному излучению. Лазерный луч, рассеянный от поверхности под углом 180° и близкими к нему, направляется пластиной 3 на длиннофокусный объектив (МТО-500) 5 с фокусным расстоянием 500 мм, который собирает пучки одного направления в одной точке фокальной плоскости. Различные точки фокальной плоскости соответствуют различным углам рассеяния.

В этой плоскости устанавливается диафрагма 6 переменного диаметра, а на расстоянии 5 см от нее — фотоумножитель типа ФЭУ-84. Перемещение ФЭУ с диафрагмой при помощи сканирующего устройства дает возможность измерять угловое распределение рассеянного светового поля в углах до 90° от направления в 180° от направления падающего излучения.

Угловое разрешение приемной системы составляет 5'-15'. Сигнал с фотоумножителя подается на специализированный узкополосный усилитель с синхронным детектором, принципы работы которых описаны в работе [10].

Питание ФЭУ осуществляется от высоковольтного стабилизированного выпрямителя оригинальной разработки.

Пластина 3 с плоскостностью в 1/10 полосы используется для минимизации светового фона. С помощью пластин 8, 9, 10 и ловушек 11, 12 и 13 из черного бархата режективируются зеркальные составляющие световых лучей от пластины 3 и исследуемой шероховатой поверхности. Плоскопараллельные пластины 8, 9, 10 изготовлены из хорошо полированного черного стекла, которое за счет сильного поглощения в поверхностном слое обладает меньшим рассеянием, чем аналогично обработанные поверхности из не поглощающего материала.

Как показали исследования, использование светоделительного полупрозрачного зеркала с коэффициентами отражения и пропускания около 50% вместо стеклянной пластины 3 с целью увеличения измеряемого сигнала не дает желаемого результата в силу того, что в этом случае фон, возникающий от светоделительного зеркала, значительно превосходит величину рассеяния от контролируемой поверхности.

Для обеспечения юстировки установки плоскопараллельная стеклянная пластина 3 размещается на специальном столике 15. С помощью поворотных механизмов и специальных винтов, качающих столик относительно горизонтальной оси, она располагается перпендикулярно падающему пучку. Это положение фиксируется с точностью 3' по совмещению отраженного и падающих на него пучков света в плоскости диафрагмы 2 при визуальном наблюдении. Затем столик 15 с закрепленным на нем стеклом 3 поворачивается на 45°

вокруг вертикальной оси от первоначального положения. Контролируемая поверхность располагается на отдельном столике 16.

Направление отраженного эхосигнала в фокальной плоскости линзы 5 определяется таким образом.

Исследуемая поверхность помещается на столике 16 перпендикулярно падающему пучку. Это обеспечивается совмещением падающего и зеркально отраженного от поверхности пучков. Часть отраженного от исследуемой поверхности пучка света направляется плоскопараллельной пластинкой 3, расположенной под углом 45° к падающему пучку, на линзу 5 и фокусируется ею на диафрагме 6. Диафрагма 6 вместе с фотоумножителем 7 может перемещаться относительно оптической оси объектива 5 в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Этим обеспечивается возможность юстировки приемной системы относительно направления обратного эхосигнала с точностью до 3'.

Затем определяется угол рассеяния, который может лежать в широком динамическом диапазоне и даже может быть близким к 180°, от направления падающего пучка в фокальной плоскости линзы 5. Это обеспечивается с помощью поворотного столика 16, на котором закреплена исследуемая поверхность. Отсчет ведется по лимбу с ошибкой в 30 угловых секунд.

Для сравнения рассеянного излучения в фиксированном направлении от различных поверхностей проводилась нормировка силы света рассеянного излучения I_p к потоку F_n падающему на поверхность.

Величина F_n измеряется следующим образом. Перпендикулярно к падающему пучку на столике 16 устанавливается зеркало 4 с известным коэффициентом отражения. Световой поток, отраженный от зеркала 4 при помощи поворотной пластины 3, направляется на линзу 5. В фокальной плоскости этой линзы находится диафрагма. Прошедшее через диафрагму излучение полностью регистрируется фотоумножителем, поскольку угол приема $2\gamma = (5'-15')$ больше расходимости лазерного пучка.

Отсчет $\alpha_{\text{ннд}}$, получаемый на приборе, будет пропорционален F_n т. е.

$$\alpha_{\text{ннд}} = K_1 F_n \quad (1)$$

Отсчет при измерении рассеяния от исследуемых образцов дает величину

$$\alpha_{\text{расс}} = K_2 F_{\text{расс}} \quad (2)$$

($F_{\text{расс}}$ — поток, рассеянный образцом и зафиксированный прибором, в малом телесном угле $\omega = \pi\gamma^2$).

Рассеянный световой фон учитывается путем измерения интенсивности фона $F_{\text{ф}}$ при углах, соответствующих углам рассеяния светового потока от образца. *

Отсчет $\alpha_{\text{фон}}$ очевидно, равен

$$\alpha_{\text{фон}} = \kappa_3 F_{\text{ф}} \quad (3)$$

Так как при измерении всех потоков использовались один и тот же приемник и регистрирующая система, то $k_1 = k_2 = k_3$. Эти условия выполняются, так как в пределах размеров светового пятна, падающего на фотоприемник ФЭУ, чувствительность его фото катода можно считать

постоянной. В применяемом нами ФЭУ указанное постоянство соблюдается с точностью 7–10%. Рассеивающие свойства образцов будем характеризовать величиной

$$\frac{\Delta I_{\text{расс}}}{F_{\text{пад}}} = \frac{\alpha_{\text{расс}} \alpha_{\text{фон}}}{\alpha_{\text{пад}} \varpi} = \frac{\alpha_{\text{расс}} \alpha_{\text{фон}}}{\pi \alpha_{\text{пад}} \gamma_2} \quad (4)$$

Следует отметить, что при измерениях $F_{\text{п}}$ для уменьшения интенсивности прямого света перед фото умножителем располагаются нейтральные светофильтры 14, которые ослабляют излучение на несколько порядков, и поэтому $\alpha_{\text{пад}}$ корректируется с учетом их коэффициента пропускания.

Результаты измерения рассеянного света шероховатыми поверхностями, обработанными абразивами и создающие различную высоту h неровностей (для М100 – нижняя кривая, М180 – средняя кривая и М240 – верхняя кривая) представлены на рисунках 1 и 2. Причем система отсчета углов сдвинута на 180° по отношению к начальной системе, т. е. угол рассеяния, равный 180° , теперь можно считать равным нулю.

Если колебания электрического вектора E в падающем пучке происходят в плоскости падения ввиду малости рассеяния и из-за недостаточной чувствительности аппаратуры, используется диафрагма с углом приема $10'$. Когда излучение поляризовано в плоскости, перпендикулярной плоскости падения, то измерения проводятся с угловым разрешением порядка $5'$.

Из рис. 2 видно, что интенсивность рассеяния слабо меняется с изменением угла.

Сопоставление с кривыми, полученными с другой

поляризацией $E \perp$ (рис. 3), свидетельствует о том, что рассеяние во втором случае превосходит величину рассеяния в первом в несколько раз. В случае поляризации падающего излучения в плоскости, перпендикулярной плоскости падения, наблюдается ярко выраженная структура, причем перепад яркостей очевидно лежит вне ошибок эксперимента. Различие в кривых для одних и тех же образцов и постоянной поляризации объясняется тем, что они получены для различных участков поверхности исследуемых образцов, которые, по-видимому, рассеивают по-разному из-за неравномерной обработки. Рассеяние лазерного излучения на шероховатых поверхностях с крупномасштабными неоднородностями носит сугубо диффузный характер.

Для сравнения рисунки 4 и 5 иллюстрируют рассеяние от плоскопараллельных металлических пластинок различной обработки (без полировки) – три типа. В этом случае обратное отражение носит как зеркальный, так и диффузный характер. С повышением качества обработки (нижние кривые) интенсивность потока рассеяния лазерного излучения, отраженного от полированных поверхностей, существенно падает.

Превышение рассеяния при освещении излучением, поляризованным в плоскости, перпендикулярной плоскости падения, объясняется, по-видимому, тем, что образцы расположены под углом Брюстера к падающему пучку. В этом случае зеркально отраженный луч содержит в основном компоненту светового поля $E \perp$. Величина рассеяния для различных модельных образцов меняется,

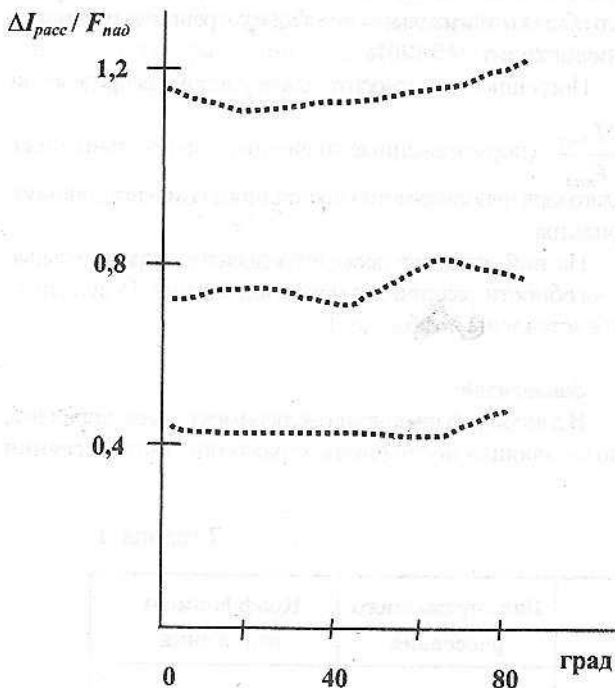


Рис. 2. Индикатрисы рассеяния для плоских шероховатых поверхностей трех типов, обработанных разными крупнозернистыми абразивами (падающее излучение поляризовано в плоскости падения).

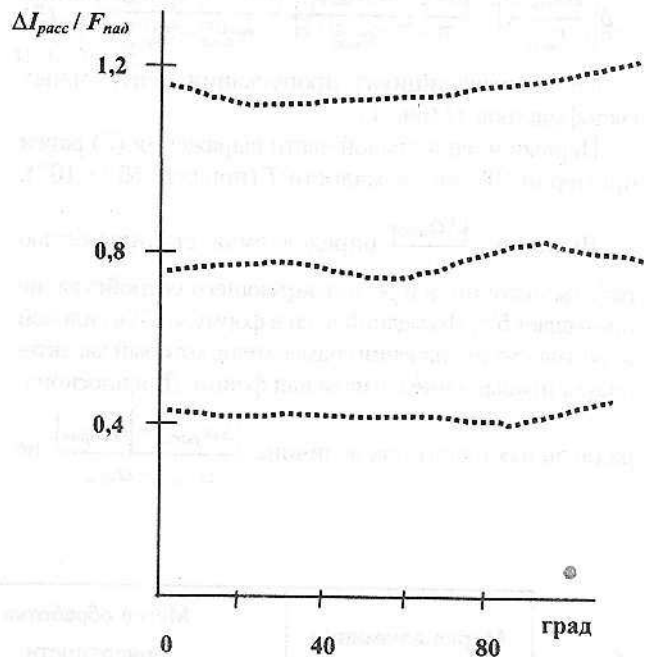


Рис. 3. Индикатрисы рассеяния для трех типов плоских шероховатых поверхностей, обработанных разными крупнозернистыми абразивами (падающее излучение поляризовано в плоскости, перпендикулярной плоскости падения)

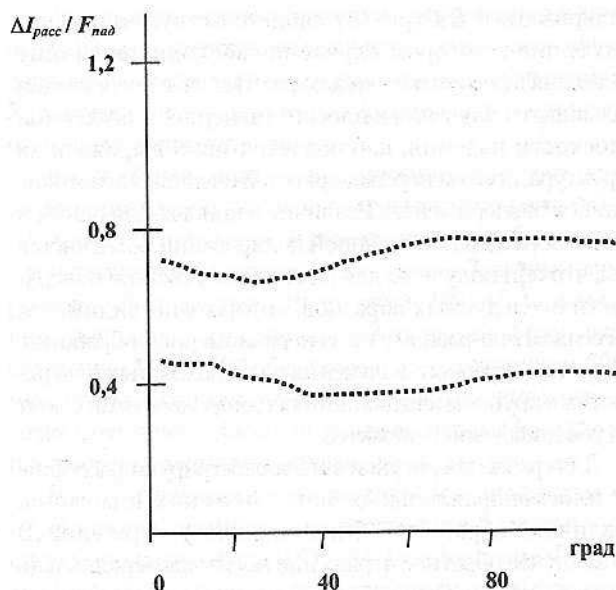


Рис. 4. Индикатрисы рассеяния для плоскопараллельных пластин двух типов (падающее излучение поляризовано в плоскости падения)

что, очевидно, связано с различным качеством обработки исследуемых деталей.

Произведем оценку ошибок измерений.

Согласно формуле (4), относительная погрешность измерения величины $\Delta I_{\text{расс}} / F_{\text{пад}}$ характеризующей рассеяние образца, имеет следующий вид

$$\delta \left(\frac{\Delta I_{\text{расс}}}{F_{\text{пад}}} \right) = \frac{|\Delta T|}{T} + \frac{|\Delta \alpha_{\text{пад}}|}{\alpha_{\text{пад}}} + \frac{|\Delta \alpha_{\text{расс}}| + |\Delta \alpha_{\text{фон}}|}{\alpha_{\text{расс}} - \alpha_{\text{фон}}} \quad (5)$$

где T —коэффициент пропускания центральных светофильтров 14 (рис. 1).

Первый член в правой части выражения (5) равен примерно 10% ввиду малости T (порядка 10^{-8} – 10^{-9}).

Величина $\frac{|\Delta \alpha_{\text{пад}}|}{\alpha_{\text{пад}}}$ определяемая стабильностью работы источника и регистрирующего устройства, не превышает 5%. Последний член в формуле (5) в сильной мере зависит от значения знаменателя, который характеризует превышение сигнала над фоном. Для плоскопараллельных пластинок величина $\frac{|\Delta \alpha_{\text{расс}}| + |\Delta \alpha_{\text{фон}}|}{\alpha_{\text{расс}} - \alpha_{\text{фон}}}$ не

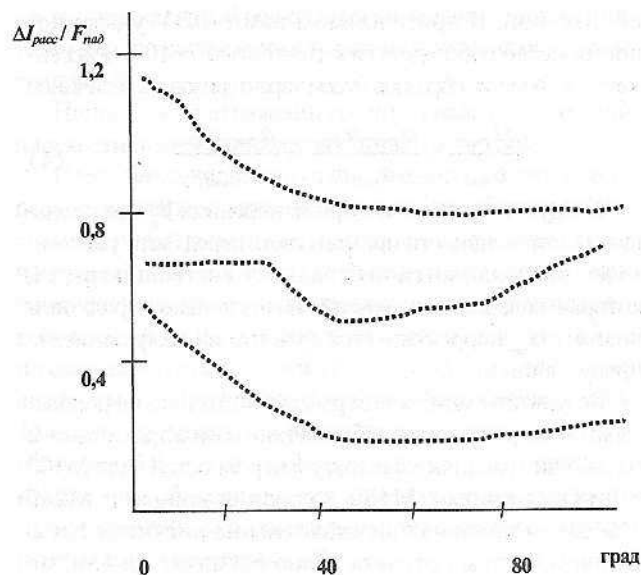


Рис. 5. Индикатрисы рассеяния для плоскопараллельных пластин трех типов (падающее излучение поляризовано в плоскости, перпендикулярной плоскости падения)

превосходит 5%, для полированных поверхностей эта величина еще значительно меньше.

Нетрудно показать, что фон при наличии образца не превосходит величину фона без образца, при учете всех элементов, создающих рассеянное излучение в установке. Результаты экспериментов показали, что при перемене местами фильтров 9 и 10 величина приборного фона не меняется с точностью до 1–3%. Из изложенного следует, что общая относительная ошибка измерения величины не превосходит 15–20%.

Погрешность в относительном уловом распределении

$\frac{\Delta I_{\text{расс}}}{F_{\text{пад}}}$ (нормированные значения) значительно ниже благодаря использованию постоянного компенсационного фильтра.

На этой установке также исследовались отражательные способности различных марок алюминия. Результаты представлены в таблице 1.

Заключение

В данной работе описана экспериментальная установка, позволяющая исследовать характеристики рассеяния

Таблица 1

Марка алюминия	Метод обработки поверхности	Вид отраженного рассеяния	Коэффициент отражения
A1M	Матировка	диффузное	0,73–0,75
Д1АМ	Термохимическая	направленное	0,87–0,90
Д1АМ	Обработка абразивом № 240	диффузное	0,83–0,85

металлических и неметаллических поверхностей. Оптимизированы функциональные элементы и системы структурной схемы установки, что позволило расширить диапазон измерения индикатрис обратного отражения различных поверхностей и функциональные возможности ее.

Выполнены измерения индикатрис рассеяния шероховатых поверхностей с крупномасштабными неоднородностями, которые искусственно созданы путем обработки поверхностей абразивами (М-100, М-180 и М-240) различной крупности. Показано, что при обработке шероховатых поверхностей этими абразивами индикатрисы обратного рассеяния носят сугубо диффузный характер и их равномерность улучшается с ростом величины h/λ , при этом коэффициент отражения такой поверхности падает.

Проведенные исследования показали, что равномерность индикатрисы рассеяния шероховатой поверхности зависит от поляризации зондирующего лазерного излучения и неравномерность индикатрисы рассеяния увеличивается при облучении поверхности поляризованным излучением, перпендикулярным к плоскости падения. При чем этот эффект проявляется и для неполированных плоско параллельных металлических поверхностей. Исследования характера рассеяния и отражательных характеристик алюминиевых поверхностей, покрытых различными защитными покрытиями, показали, что такие поверхности являются существенно диффузными и их коэффициент отражения зависит за вида покрытия, достигая максимального значения при термохимической обработке.

Выполненные разработки и исследования подтвердили возможность исследований разработанным методом характеристик рассеяния как металлических, так и

неметаллических поверхностей в диапазоне пространственных углов обратного рассеяния до 180° .

Литература

1. *Гатис В.А.* Координатные измерительные машины. Москва. Издательство «Машиностроение», 1988, 352с.
2. *Оптический* производственный контроль. Под редакцией Малакары Д. Москва. Издательство «Машиностроение», 1985, 400 с.
3. *Аблеков В.К., Колядин С.А., Фролов А.Ф.* Высоко-разрешающие оптические системы. Москва. Издательство «Машиностроение» 1985. 244 с.
4. *Goldstein M.J.J.* Appl. Phys. v. 30, №5, 1959, p.493
5. *Колядин А.И., Гютикowa Л.П.* Оптико-механическая промышленность. №7, 1965, с. 22.
6. *Величина Т.С.* Труды физического института АН СССР т. 9, 1959, с. 59.
7. *Вагнер Е.Т., Митрофанов А.А., Барков В.И.* Лазерные и оптические методы контроля в самолетостроении. Москва. Издательство «Машиностроение», 1977, 176 с.
8. *Коропкевич В.П., Ленкова Г.А.* Автотриетрия, 1972, № 6, с. 68.
9. *Хусу А.П., Витенберг Ю.Р., Пальмов В.А.* Шероховатость поверхностей. Москва. Издательство «Наука», 1975, 385 с.
10. *Дианов-Клоков В.И., Палицина И.А., Стаховский А. Д.* Приборы и техника эксперимента. №6. 1963. С. 89
11. *Олейник В.И., Олейник Е.И., Шмаров В.И.* Сборник трудов 1-ой международной конференции «Современная контрольно-испытательная техника и их сертификация». книга 2. Издательство ДАЛИТУ. Киев, 1997. С. 28.