

ОПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ОТЛИВОК

М.Н. Агапов, С.М. Антонов, А.И. Тищенко

В статье рассмотрено применение оптических методов контроля поверхности отливок. Приведены примеры практической реализации контроля состояния поверхности и геометрических размеров, сделаны выводы относительно возможности применения оптических методов в условиях литейного производства.

Повышение эффективности производства и качества продукции – комплексная проблема, складывающаяся из решения отдельных, частных задач. Одна из таких задач – организация контроля технологического процесса и качества готовых изделий. Важное место в этом принадлежит методам неразрушающего контроля, позволяющим исключать из готовой продукции образцы, имеющие те или иные виды дефектов, отклонений от заданных параметров [1].

Традиционно в качестве методов контроля продукции литейных цехов выделяют методы контроля объемных дефектов (рентгеновские, нейтронные, ультразвуковые), поверхностных дефектов (капиллярные, электромагнитные методы), методы контроля линейных размеров и состояния поверхности. Значительное количество дефектов обнаруживается визуальным осмотром, часто без применения какого-либо оборудования. В связи с этим визуальный контроль зачастую не упоминается вообще среди используемых в производстве, хотя отбраковка дефектных деталей, классификация дефектов, выявление причин их появления и способов ликвидации – повседневная практика работы литейных цехов.

В работе [2] для эффективного решения вопроса автоматизации процесса снижения брака описан визуально-логический способ определения дефекта по морфологическим признакам его поверхности (цвету, блеску, шероховатости и т.д.), расположению на отливке, виду и др. Правильное описание признаков дефектов позволяет даже малоопытным специалистам в короткий срок точно определить дефект отливки и наметить возможные способы его подавления.

Визуальные методы отличаются высокой эффективностью и позволяют выделять и классифицировать большое количество поверхностных дефектов, однако не позволяют повышать уровень автоматизации производства. Замена визуальных методов контроля автоматизированными оптическими сталкивается со значительными трудностями (см., на-

пример, [3]) и в последние 10-15 лет обычно не проводится. Среди широко применяемых в отечественном литейном производстве оптические методы контроля часто не рассматриваются, поскольку отсутствуют универсальные измерительные приборы и инструменты, а создание контрольного оборудования для определенных классов отливок является сложной непрофильной задачей для литейных производств.

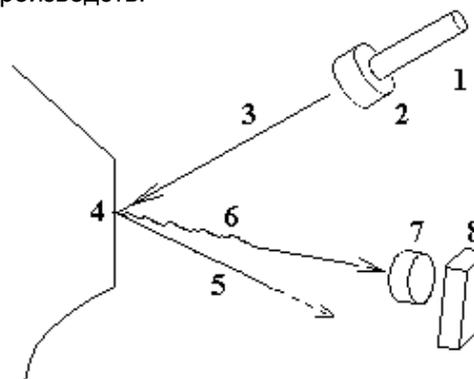


Рисунок 1 – Упрощенная схема устройства оптического контроля поверхности

В упрощенном виде схема устройства оптического контроля поверхности изображена на рисунке 1. Цифрами обозначены: 1- источник оптического излучения, 2- оптическая система источника излучения, 3- зондирующий поверхность оптический луч, 4- исследуемая поверхность, 5- зеркально отраженный луч, 6- отраженное в направлении приемника излучение, 7- оптическая система приемника, 8- приемник излучения. Исходя из приведенной схемы, сразу выделим проблемы, возникающие при практическом использовании подобных устройств.

Оптическая система должна быть либо защищена, либо устойчива по отношению к окружающей среде (вибрация, пыль, агрессивные химические компоненты и т.д.).

В зависимости от состояния поверхности и угла падения коэффициент зеркального отражения изменяется от 5 до 99%, соответственно диффузное отражение может быть ме-

нее 1% интегрально по всем возможным углам, и менее десятитысячной доли в направлении приемника. Как следствие, динамический диапазон попадающего на приемник излучения достигает десятков тысяч.

В реальных условиях размеры минимальных оптически контролируемых участков поверхности составляют десятые доли миллиметра. Соответственно точность контроля геометрических размеров также составляет десятые доли миллиметра.

Первые две проблемы являются таковыми для разработчиков соответствующих приборов, третья проблема определяет класс отливок и дефектов, которые могут контролироваться оптическими методами:

Отливки, точность геометрических размеров которых составляет десятые доли миллиметра.

Определение крупных (более десятой доли мм) поверхностных дефектов отливок с высокой точностью геометрических размеров. Присутствие таких дефектов на критических участках отливки ведет к ее отбраковке.

Положение точки попадания оптического луча на поверхность отливки определяется геометрическими (триангуляционными) методами по известным положениям источника и приемника излучения, а также направлению зондирующего и принимаемого луча. Состояние поверхности оценивается по соотношению между зеркальным и диффузным отражением с учетом ориентации поверхности, которая определяется здесь же в процессе измерений. В зависимости от выбранного метода измерений оптическая схема модифицируется: в качестве источника излучения может использоваться лазер с изменяемым направлением луча, структурированное или пространственно-равномерное излучение. В качестве приемника может быть использована схема с одним или двумя (реже – большего числа) многоэлементных приемников оптического излучения – линеек или матриц. При необходимости получения информации о цвете поверхности или дефекта используется оптическая схема либо с несколькими спектрально разнесенными излучателями, либо со спектрально-разнесенными приемниками (в простейших случаях используются светофильтры либо со стороны источника, либо со стороны приемника излучения).

Оптическими методами обнаруживаются и автоматически классифицируются следующие поверхностные дефекты: раковины, трещины, пригар, просечки и т.п. В процессе измерений определяются состояние поверхности детали и дефекта: гладкие, шероховатые,

гладкие с шероховатостью, блестящие и т.п. Здесь же автоматически определяются форма дефекта, обуславливающая его морфологические признаки и облегчающая классификацию – например, раковина может быть сферическая, сплюснутой формы, бесформенная и т.п. По партии отливок проводится описание дефекта и сбор статистики – дефекты в определенном месте отливки или случайные, групповые дефекты или одиночные, и т.п.

Оптический контроль геометрических размеров протяженных деталей позволяет выявить такие дефекты отливки, как разностенность, обжим, перекосяк, недолив и т.п., во многом связанные с недостатками формовочного процесса либо отклонениями от заданной технологии литья.

В качестве примеров использования оптических методов для контроля изделий литейного производства рассмотрим две практические реализации, опробованные нами в качестве макетов. В обоих случаях в качестве приемников излучения использовались цветные web-камеры разрешением 640x480 элементов, информация с которых вводилась в персональный компьютер для обработки. Для реальной работы в условиях цеха требуется дополнительная организация защиты оборудования от внешних воздействий, а также повышение быстродействия системы за счет использования видеокамеры с вводом информации в компьютер через видеокарту.

Первый макет использован для анализа геометрических размеров и фракционирования по размерам литейной дроби. Для подобного класса задач оптимальной является оптическая схема, использующая теневой метод [3]. На рисунке 2 цифрами обозначены: 1 – источник излучения, 2 – оптическая система источника, формирующая параллельный поток лучей, 3 – исследуемый объект (дробь), для которого проводится определение размеров, 4 – фокальная плоскость матричного фотоприемника, создаваемая оптической системой приемника.

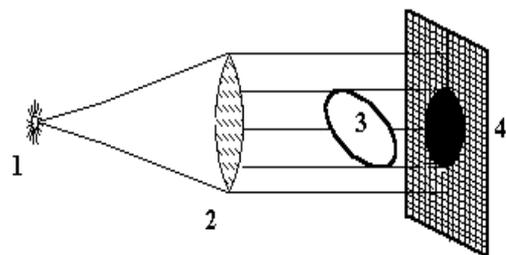


Рисунок 2 – Оптическая схема теневого метода, используемого для определения геометрических размеров

В плоскости фотоприемника формируется изображение проекции исследуемого объекта. Изображение в идеале является бинарным: либо затененный объект, либо участок, освещенный параллельным пучком излучения. Реальное изображение содержит плавный переход свет-тень, кроме того, изображение имеет конечное пространственное разрешение, определяемое числом задействованных пикселей.

Обработка изображения проводится в два этапа: на первом этапе уточняется граница объекта по переходу свет-тень. После приема кадра строится гистограмма яркостей, определяется "уровень черного" для затененных участков и "уровень белого" для участков фотоприемника, не затененных исследуемым объектом. Количество промежуточных пикселей, соответствующих границе объекта, пропорционально периметру объекта, умноженному на ширину области перехода свет-тень. Определение пороговых уровней позволяет между ними использовать тот или иной вид аппроксимации переходной яркости. Проще всего использовать линейный вид аппроксимации яркости по строкам изображения, позволяющий уточнить положение границы в переходной области. Для каждой строки изображения, перекрываемой объектом, определяется пара уточненных координат $\{x_1, x_2\}$ начала и конца объекта для данной строки.

На втором этапе для бинарного изображения с известными границами производится вычисление различных моментов изображения: площадь S вычисляется как момент нулевого порядка инверсного бинарного изображения $\beta(x, y)$ - область объекта определяется как 1, область вне объекта определяется как 0:

$$S = \iint_{\Phi} \beta(x, y) dx dy ;$$

где Φ – поверхность фотоприемника;

Координаты центра тяжести объекта \bar{x} , \bar{y} определяются как моменты первого порядка

$$\bar{x} = \frac{1}{S} \cdot \iint_{\Phi} x \cdot \beta(x, y) dx dy ;$$

$$\bar{y} = \frac{1}{S} \cdot \iint_{\Phi} y \cdot \beta(x, y) dx dy$$

Моменты второго порядка

$$a = \iint_{\Phi} x^2 \cdot \beta(x, y) dx dy ;$$

$$b = 2 \iint_{\Phi} x \cdot y \cdot \beta(x, y) dx dy ;$$

$$c = \iint_{\Phi} y^2 \cdot \beta(x, y) dx dy$$

позволяют рассчитать моменты инерции J вдоль главных осей проекции объекта:

$$J_{\pm} = \frac{a+c}{2} \pm \frac{1}{2} \cdot \sqrt{b^2 + (c-a)^2}$$

Предполагая, что форма литейной дроби мало отличается от окружности, проекция является эллипсоидом, значения моментов инерции позволяют оценить размеры полуосей объекта. На основании информации о размерах производится классификация объекта, т.е. в какую фракцию готовой продукции необходимо направить данный объект.

Достоинством рассмотренного метода определения линейных размеров является отсутствие чувствительности к состоянию поверхности дроби: зеркальные, шероховатые объекты, объекты с изменяющимся коэффициентом отражения вдоль поверхности дают теневую проекцию, практически не зависящую от свойств поверхности объекта. Однако при этом поверхностные дефекты, за исключением значительных отклонений от правильной эллипсоидальной формы, не определяются и в дальнейшем не учитываются.

Второй из разработанных нами макетов использован для контроля геометрических параметров отливок и контроля их поверхности, включая обнаружение и классификацию поверхностных дефектов. Для облучения объекта используется структурированное освещение, формируемое гелий-неоновым лазером и состоящее из заданного числа ($N \cdot M$) параллельных лучей. Сначала лазерный пучок расщепляется на N параллельных пучков с помощью плоскопараллельной пластины, на грани которой напылением нанесено алюминиевое покрытие с коэффициентом пропускания порядка 2%.

На рисунке 3 цифрами изображены 1- лазер, 2-луч лазера до расщепления, 3- пластина с напылением на гранях, 4 – прозрачное окно в напылении для ввода лазерного луча, 5 – параллельные выходные лучи после расщепления пластиной. Настраиваемый угол Φ определяет разворот пластины по отношению к падающему лазерному лучу. От величины этого угла зависит расстояние между выходными параллельными лучами и, соответственно, количество лучей, формируемых пластиной.

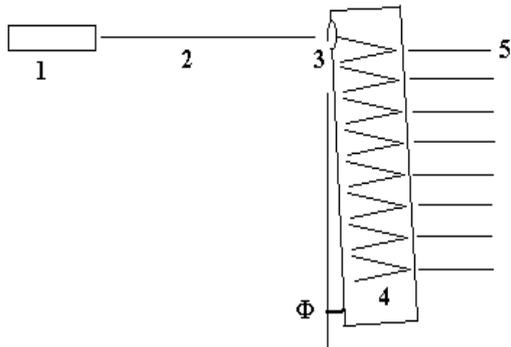


Рисунок 3 – Схема расщепления лазерного луча на N параллельных

По аналогичной схеме проводится расщепление пучка лучей плоскопараллельной пластиной вдоль другой координаты. В результате формируется структурированное освещение, состоящее из (N*M) параллельных лучей с известными (и регулируемыми) расстояниями между ними. Плоское зеркало, отклоняемое по двум осям, обеспечивает развертку оптического поля по поверхности исследуемого объекта. Наличие одновременно (N*M) лучей позволяет снизить скорость механического сканирования одного луча в (N*M) раз, что существенно снижает время обследования. Управление отклоняющим зеркалом осуществляется от персонального компьютера, приводы зеркала – шаговые электродвигатели с редуктором.

Структурированное освещение формирует на поверхности исследуемой отливки набор освещенных пятен, рассеивающих падающий свет зеркально и диффузно. Изображение этих пятен фиксируется многоэлементным матричным фотоприемником и вводится в компьютер для обработки.

Использовался следующий алгоритм обработки получаемой информации: для каждого пятна в системе координат фотоприемника рассчитывался центр тяжести пятна и его интегральная яркость. Первой проблемой является определение на изображении светового пятна, с учетом отмеченного ранее большого динамического диапазона принимаемых оптических сигналов. Нами использовался принцип локальности световых пятен: размер светового пятна в пикселях априорно известен в некоторых границах (обычно размер пятна для заданной схемы измерений изменяется не более чем в 3-4 раза). На поверхности изображения яркость аппроксимировалась гладкой полиномиальной функцией (поле фотоприемника разбивалось на N квадратных субобластей), эта функция учитывала пространственно ус-

редненную яркость по субобласти, включая неосвещенные участки и световые пятна. Средняя яркость являлась естественным порогом, превышение которого определяет световое пятно с яркостью Z_J . В окрестности светового пятна, т.е. для всех пикселей, расстояние которых до пятна не превышало заданной величины R_0 , проводился следующий расчет: определялась минимальная яркость Z_0 , которая считалась фоновой для данной области поверхности детали и вычиталась из остальных значений яркости. Яркость пятна Z для последующих расчетов определялась как

$$Z = \iint_{\Phi} z(x, y) dx dy ;$$

здесь $z(x, y)$ – уровень сигнала за вычетом фона по отдельным пикселям, принадлежащим окрестности Φ данного пятна. Координаты центра пятна рассчитывались по формуле

$$\bar{x} = \frac{1}{Z} \cdot \iint_{\Phi} x \cdot z(x, y) dx dy ;$$

$$\bar{y} = \frac{1}{Z} \cdot \iint_{\Phi} y \cdot z(x, y) dx dy$$

Далее для каждого пятна проводился расчет координат точки поверхности $\{x, y, z\}$. Использовалась следующая модель расчета координат, описанная ниже. Считаем, что отливка находится в “абсолютной” системе координат $\{X, Y, Z\}$, плоскость $\{X, Y\}$ лежит в плоскости поворотного стола 2 (см. рисунок 4). Система координат $\{U, V, W\}$, связанная с камерой (в дальнейшем – система координат камеры), может совмещаться с абсолютной системой координат линейным преобразованием

$$\begin{Bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{Bmatrix} = \hat{R} \times \begin{Bmatrix} U \\ V \\ W \\ 1 \end{Bmatrix}$$

где \hat{R} – однородная матрица преобразования координат, описывающая ориентацию (разворот) и сдвиг систем координат относительно друг друга. Будем считать, что начало координат системы $\{U, V, W\}$ совпадает с центром оптической системы, ось W направлена от камеры в сторону исследуемого объекта, оси координат U, V направлены параллельно осям многоэлементного матричного фотопри-

емника x, y . В системе координат камеры положение точки $\{U, V, W\}$ в фокальной плоскости матричного фотоприемника $\{x, y\}$ определяется выражениями

$$x=k(U/W); y=k(V/W)$$

Здесь k – коэффициент, определяющий параметры объектива и зависящий от его фокусного расстояния и размера матрицы.

Поворотный стол 2 содержит на своей плоскости набор светодиодов с заданными абсолютными координатами, что позволяет осуществить калибровку камеры, закрепленной в заданном положении. Калибровка камеры сводится к определению 12 коэффициентов матрицы преобразования \hat{R} , из которых независимыми являются 9. Поочередное включение светодиодов с известными координатами позволяет определить все коэффициенты матрицы преобразования. Нами использовалась система 20 светодиодов, из которых на одной прямой лежит не более трех. Коэффициенты матрицы определялись методом наименьших квадратов при калибровке.

Калибровка для источника структурированного освещения проводилась после калибровки камеры. Система координат излучателя $\{A, B, C\}$ связана с абсолютной системой координат $\{X, Y, Z\}$ преобразованием

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{pmatrix} = \hat{G} \times \begin{pmatrix} A \\ B \\ C \\ 1 \end{pmatrix}$$

где \hat{G} – однородная матрица преобразования координат, описывающая ориентацию (разворот) и сдвиг систем координат относительно друг друга. Будем считать, что начало координат системы $\{A, B, C\}$ совпадает с центром отклоняющего зеркала оптической системы, ось C направлена от камеры в сторону исследуемого объекта, оси координат A, B направлены параллельно отклоняемому зеркалу. Калибровка излучателя сначала проводится в среднем (нулевом) положении отклоняющего зеркала. При этом лучи попадают на поворотную платформу измерительного макета и создают на поверхности платформы набор световых пятен. Откалиброванный источник излучения определяет абсолютные координаты этих световых пятен (при этом координата z равна нулю). Расстояние между параллельными лучами излучателя задается при регулировке и настройке излучателя. По известным координатам световых пятен определя-

ются коэффициенты однородной матрицы преобразования \hat{G} , аналогично тому как это делалось при калибровке камеры. Далее производилось отклонение зеркала по координатам A, B и повторно проводилась калибровка камерой излучателя, что позволяет рассчитать положение световых лучей в абсолютной системе координат при любых отклонениях зеркала.

В процессе измерения поверхности объекта на его поверхности создается структурированное оптическое поле, состоящее из набора световых пятен от параллельных друг другу световых лучей. Уравнения прямых, соответствующих зондирующим лучам, известны за счет калибровки источника излучения. Уравнения прямых, проходящих через световые пятна и центр оптической системы приемника, известны за счет калибровки приемника. Точка пересечения прямых источника и прямых приемника определяет точку на поверхности исследуемого объекта.

Уравнения прямых в абсолютной системе координат известны с ограниченной точностью, и данные прямые могут пересекаться лишь случайно. Нами использовалось вместо определения точки пересечения прямых определение точки, лежащей на минимальном расстоянии между прямыми камеры и источника. Естественно, что все координаты точек поверхности объекта, рассчитанные по данным оптических измерений, известны с некоторой погрешностью.

После обработки изображения с помощью сканирующего зеркала световая картина сдвигалась вдоль оси X зеркала по поверхности объекта, и снова проводился расчет координат точек поверхности $\{x, y, z\}$. После сканирования N_x точек по координате X зеркала проводилось смещение зеркала по координате Y , и снова проводился расчет координат точек со сканированием зеркалом вдоль оси X . В результате обработки $N_x * N_y$ кадров полного сигнала фотоприемника поверхность обследуемой детали была полностью просканирована при осмотре и освещении с одной стороны. Результатом обследования является набор рассчитанных точек поверхности изделия $\{x, y, z\}$ и интегральных яркостей точек Z_j для заданной ориентации объекта относительно оптической системы.

Для получения полной карты поверхности отливки используется поворотная платформа 2, вращающая отливку 3 относительно

оси вращения 4 и оптической системы 5 (рисунок 4). Для обследования изделий сложной формы сама оптическая система 5 может перемещаться вдоль несущей сферической рамы 1.

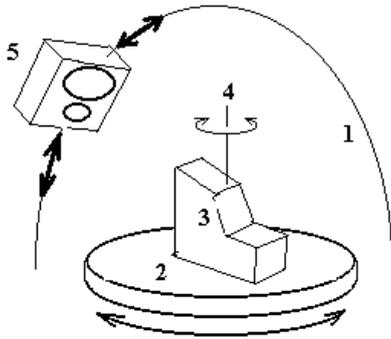


Рисунок 4 – Схема измерительного комплекса для определения геометрических размеров и качества поверхности

Результатом обследования поверхности объекта является множество рассчитанных точек поверхности $\{x, y, z\}_j$ и интегральных яркостей точек Z_j , для которых фиксируется относительное положение объекта и оптической системы. Данные по соседним точкам на этом этапе никак не связаны (не коррелированы) друг с другом.

Рассмотрим алгоритм дальнейшей обработки результатов измерений для одного из фиксированных положений оптической системы и объекта (построение части поверхности объекта). Для снижения уровня случайных погрешностей поверхности нами использовался метода наименьших квадратов в следующей реализации.

Для произвольной точки поверхности $\{x, y, z\}_j$ определяются N_0 ее ближайших по геометрическому расстоянию соседей. Делается проверка непрерывности яркости по всем точкам – дисперсия яркости не должна превышать заданной величины dZ_0 по отношению к яркости точки Z_j , иначе точка является особой точкой поверхности. Уравнение поверхности второго порядка в общем виде можно записать следующим образом:

$$a_1x^2 + a_2y^2 + a_3z^2 + 2b_{12}xy + 2b_{13}xz + b_{23}yz + c_1x + c_2y + c_3z + d = 0$$

Это уравнение содержит 10 неизвестных коэффициентов, которые могут быть опреде-

лены по ближайшим N_0 точкам. Для определения коэффициентов необходимо минимизировать квадратичную форму

$$L = \sum_n \{a_1x_n^2 + a_2y_n^2 + a_3z_n^2 + 2b_{12}x_ny_n + 2b_{13}x_nz_n + b_{23}y_nz_n + c_1x_n + c_2y_n + c_3z_n + d\}^2$$

Приравнявая нулю частные производные квадратичной формы L по неизвестным коэффициентам, получаем линейную систему десяти уравнений для нахождения коэффициентов, которая легко решается методом исключения Гаусса. Полученные коэффициенты позволяют уточнить положение центральной точки $\{\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}\}_j$, т.е. снизить величину случайной погрешности определения координат отдельных точек за счет усреднения по соседним точкам. Естественно, что расчет аппроксимирующей поверхности должен проводиться для всего множества исходных точек.

Отметим алгоритмические проблемы, которые возникают при последующей компьютерной обработке первичных результатов.

Скачки яркости для соседних точек по отношению к Z_j свидетельствуют либо о наличии дефекта поверхности, либо особенности поверхности типа ребра или вершины. В обоих случаях аппроксимацию поверхности гладкой функцией применять нельзя, и полученные экспериментально координаты точек остаются без изменений.

Вблизи ребра поверхности либо вблизи дефекта ближайшие соседи могут располагаться только с одной стороны точки. В этом случае аппроксимация методом наименьших квадратов все равно работает, аналогично понятию одностороннего предела или односторонней производной.

Поверхности, рассчитанные для разных взаимных ориентаций объекта и оптической системы, не совпадают друг с другом. Границы поверхностей, рассчитанных для разных взаимных ориентаций объекта и оптической системы, не совпадают друг с другом. Погрешности определения координат, полученных для разных взаимных ориентаций объекта и оптической системы, могут существенно отличаться друг от друга. Для определения итоговой поверхности в тех местах, где имело место перекрытие поверхностей, нами использовался метод наименьших квадратов для точек, принадлежащих обеим поверхностям. Наиболее удовлетворительные резуль-

таты получены в том случае, если удавалось оценить погрешность расчета координат и использовать весовые коэффициенты в методе наименьших квадратов.

Окончательным результатом определения поверхности является множество очищенных от погрешностей координат точек поверхности и их яркостей, объединенных в наборы из четырех значений для каждой точки $\{ \bar{x}, \bar{y}, \bar{z}, Z \}$. Наличие такого набора позволяет:

- сравнить форму поверхности с эталоном и описать геометрические дефекты
- описать поверхностные дефекты
- сделать вывод о пригодности данной отливки для дальнейшего использования.

Эталонная форма поверхности также описывается множеством координат поверхности $\{ \bar{x}, \bar{y}, \bar{z} \}$. Источником координат эталона может быть либо система САПР, экспортирующая множество точек поверхности, либо эталонная отливка, геометрические размеры которой соответствуют требованиям к данной детали. Для сопоставления с эталоном необходимо, чтобы положение центра тяжести и ориентация исследуемой детали и эталона совпадали или были максимально близки друг к другу. Проблема заключается в том, что поверхности двух разных деталей никогда не совпадают друг с другом. Нами для “совмещения” деталей использовался следующий алгоритм. Пусть изначально центры тяжести деталей не совпадают с точностью dD , и ориентация деталей не совпадает с погрешностью dF . Будем считать, что величины dD и dF невелики. Будем считать, что между поверхностями деталей действуют силы притяжения, которые а) пространственно ограничены б) ограничены по величине и убывают с расстоянием. Простейший вид силы притяжения F между точками поверхности от расстояния r , удовлетворяющий этим требованиям, задается в виде

$$F = \begin{cases} 1 - \frac{r}{dD} & 0 < r < dD \\ 0 & r > dD \end{cases}$$

С помощью этой формулы определяются силы, действующие на точки поверхности F , суммированием по всей поверхности находится сумма сил и момент сил, смещающих и разворачивающих поверхность для максимально возможного совмещения с эталоном. Очевидно, что существует “оптимальное” равновесное положение поверхности относительно эталонной, когда сумма сил и момент сил равны нулю.

В положении равновесия проводится анализ отклонения координат одной поверхности от другой. Для каждой точки исследованной поверхности определяется ближайшая к ней (по минимальному расстоянию) точка эталонной поверхности, расстояние между точками дает величину отклонения в данной точке. На поверхности отливки есть участки, где требования к отклонению от заданной формы высокие, и есть участки, где допускаются значительные отклонения. Описание эталона должно содержать допустимые отклонения – для этого удобнее всего задавать 2 дополнительных эталонных поверхности (+поверхность и –поверхность), между которыми может находиться поверхность отливки.

Локальные отклонения формы поверхности от эталонной, сопровождаемые изменением яркости (в обе стороны) на отражение, соответствуют локальным дефектам поверхности. Классификация дефектов может проводиться по их морфологическим признакам: размер, глубина или высота дефекта, яркость и коэффициент отражения.

Проблемой является идентификация пятен (их номеров n_X, n_Y) на поверхности объекта. В основе данной проблемы лежит несколько причин. Во-первых, не все лучи могут попадать на поверхность. Во-вторых, падающие на поверхность лучи могут быть невидимы для приемника – например, попавший в узкую трещину луч. В-третьих, возможные переотражения луча от зеркальной поверхности во впадинах. Для решения первой проблемы нами использовался постепенный ввод отливки в поле зрения оптической системы, когда в поле зрения приемника сначала попадает только один луч, затем один из угловых лучей, ограничивающих оптическое поле. В этом случае удается сохранять нумерацию лучей при условии непрерывности их смещения по поверхности отливки (достаточно малый шаг сканирования зеркалом). Для решения второй проблемы в программе расчета помечались “пропавшие” лучи и прогнозировалась область их появления, что в большинстве случаев позволяло идентифицировать “оживающие” точки. Решение третьей проблемы возможно с использованием обратной связи: известная форма поверхности позволяет рассчитать возможные переотражения лучей. При условии непрерывности сканирования появление “лишних” точек происходит плавно и позволяет исключать их из дальнейших расчетов. После расчета формы поверхности возможно проведение пространственной трассировки лучей и перерасчет отражений.

Выводы. Оптические методы контроля могут применяться для контроля изделий литейного производства для отливок с требованием к точности поверхности в пределах долей миллиметра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гурьев А.М., Марков В.А. Контроль качества отливок в машиностроении: Учебное пособие /Алт. Гос. Тех. ун-т им. И.И. Ползунова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2002. –279с, илл.

2. Воронин Ю.Ф., Камаев В.А., Петрухин А.В., Агеев В.К., Шешенева А.В. Интегрированная аналитическая система повышения

качества литья // Заготовительное производство в машиностроении. - 2003. - №9. - с.3-6.

3. Системы технического зрения. / А.Н. Писаревский, А.Ф. Чернявский, Г.К. Афанасьев и др., под общ.ред. А.Н. Писаревского и А.Ф. Чернявского. Л.: Машиностроение. Ленинград. Отд.-ние, 1988. –424с.: илл.

4. Агапов М.Н., Тищенко А.И. Формирование модели выделения информации с многоэлементных фотоприемников //В кн. «Современные проблемы техники и технологии хранения и переработки зерна». Барнаул, 1997.

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова