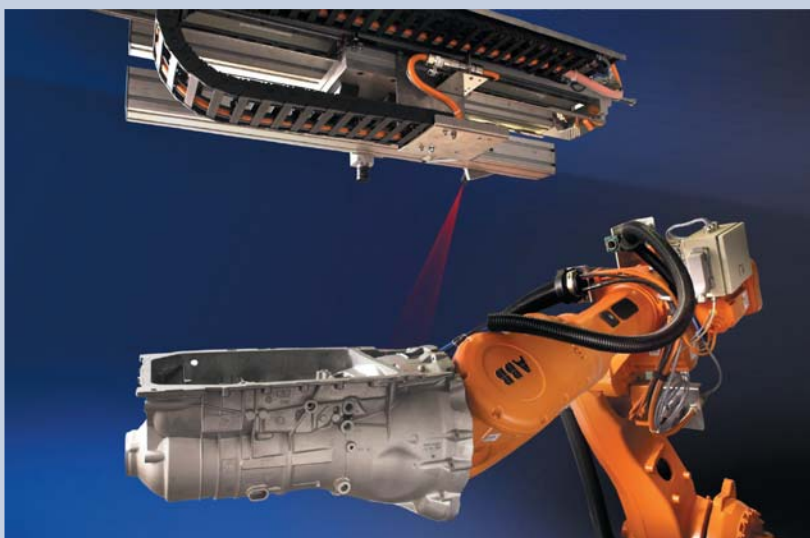


Автоматический лазерный визуальный контроль отливок сложной формы

Рисунок 1



Система 3D-Flexinspector для контроля качества картеров коробок передач

Обычные методы ручного контроля качества (осязательный или бесконтактный) отливок сложной формы имеют недостатки, обусловленные самой их природой. Новая система автоматического визуального контроля получает необходимые данные методом лазерной триангуляции. Она осуществляет бесконтактное измерение всей поверхности объекта, сравнивает полученные данные с деталью-образцом с целью обнаружения отклонений, а затем отделяет годные детали от дефектных.

В настоящее время качество отливок сложной формы проверяется методом ручного визуального контроля, который часто проводится персоналом лишь от случая к случаю, параллельно с его обычной деятельностью в производст-

венном процессе, например, во время ручной укладки на поддоны/упаковки, удаления облоя, передачи на следующий этап технологической цепочки или на других, выполняемых вручную этапах технологического процесса. Иногда выполняется лишь проверка качественных критериев без использования каких-либо дополнительных средств или используются специальные измерительные средства (калибры), предназначенные для данного вида продукции. Измерение, т. е. количественная оценка, выполняется с помощью штангенциркулей, измерительных приборов со шкалой и других средств контактного измерения.

Ручные методы контроля обладают рядом хорошо известных недостатков.

— Результаты контроля могут зависеть от внешних условий, времени выполнения работы, времени суток и квалификации работника. Так, определенные типы про-

верки не учитывают, что работник, выполняющий контроль, имеет свои субъективные критерии оценки. Кроме того, количественные измерения могут быть выполнены с недостаточной точностью, например из-за неправильного обращения с прибором или неверного считывания показаний. Таким образом, объективные результаты получить очень сложно.

— Результаты измерений часто документируются лишь частично или не документируются вообще.

С целью получения объективных, воспроизводимых и документированных результатов контроля качества используют автоматический контроль. Координатно-измерительные машины и другие машины, использующие контактный метод измерений, применяются для предварительного контроля с целью проверки точности соблюдения размеров. Координатно-измерительные обычно допускают случайный отбор, так как требуемый перечень характеристик изделия может быть получен в течение нескольких минут, а индивидуальные характеристики получают последовательно. Время получения этих характеристик намного превышает типичные значения продолжительности производственного цикла, которое в литейном производстве может составлять от нескольких секунд до минуты на отливку. Данная ситуация еще больше усложняется тем, что координатно-измерительные машины традиционного исполнения изначально предназначены для работы в помещениях с кондиционированной атмосферой и, таким образом, не встраиваются в производственный цикл. Во многих случаях автоматизированная работа с дета-

лями вообще не может быть осуществлена. Таким образом, все большее применение находят контактные измерительные системы, которые встраивают в производственный процесс. Эти системы позволяют осуществить 100%-ный контроль продукции в течение производственного цикла, но точность их измерения ниже, чем координатно-измерительных машин. С помощью контактных измерительных систем можно проверить лишь абсолютный минимум характеристик изделия.

В дополнение к технике контактных измерений все чаще используются бесконтактные системы, в частности с камерами. Эти системы включают и методики, позволяющие измерять и время выполнения операций.

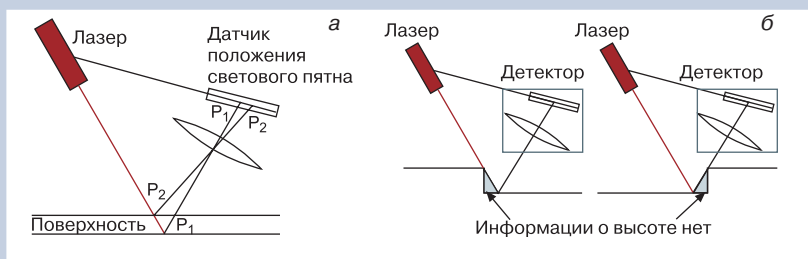
Описанные выше технологии измерения позволяют провести лишь контроль поверхности изделия и обнаружить видимые дефекты. В данной статье не описаны технологии обнаружения объемных дефектов (пор, невидимых трещин, дефектов структуры), которые выполняются акустическими или рентгеновскими методами, а также компьютерной томографией.

Возможность синхронного контроля

Для контроля качества отливок сложной формы была специально разработана система 3D-Flexinspector (рис. 1) — автоматическая, стойкая к нагрузкам и обеспечивающая качественный, объективный и документированный контроль.

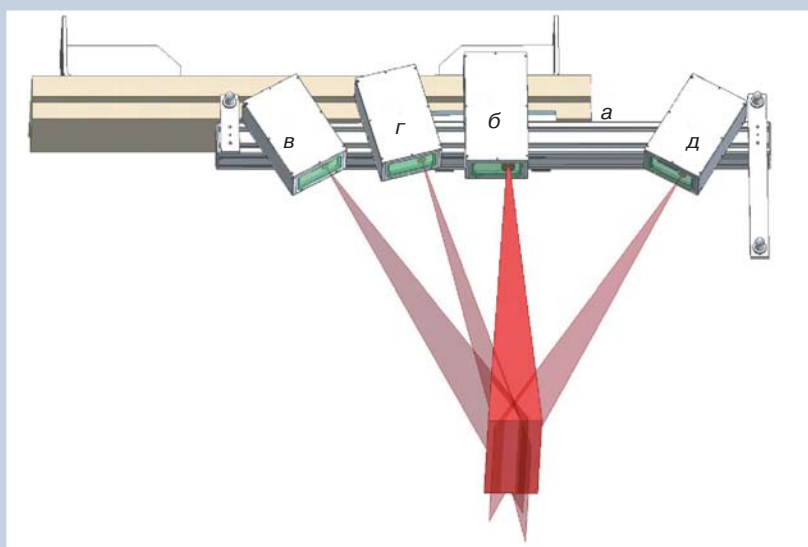
В отличие от координатно-измерительной машины, эта система с самого начала рассчитана на 100%-ное встраивание в поточную линию, т. е. позволяет выполнять контроль отливок как операцию производственного цикла. Система обеспечивается быстрым сбором данных с записью нескольких миллионов трехмерных измерительных точек. Становится возможным полное измерение характеристик поверхности.

Рисунок 2



Методика триангуляции — принцип действия (а), проблемы затенения (б)

Рисунок 3



Сканирующее устройство трехмерной лазерной триангуляции: линейный двигатель (а), трехмерная камера (б), линейный лазер под углом 30° (в), 15° (г) и -30° (д)

Получение трехмерного изображения и его обработка почти не подвержены влиянию изменений яркости или цвета поверхности; последнее — это, например, цветовая маркировка или остатки ржавчины, из-за которых в традиционных системах обработки изображений часто происходит ложная отбраковка.

При использовании роботов для работы с деталями система 3D-Flexinspector становится настраиваемой, гибкой и независимой. — Одну и ту же систему можно при необходимости использовать для проверки различной по типу продукции. В то время как контактные измерительные устрой-

ства необходимо адаптировать к каждому типу продукции, что влечет за собой значительные расходы. Система 3D-Flexinspector во многих случаях способна работать со всеми деталями, входящими в одну категорию, с использованием одного универсального захватывающего устройства без каких-либо дополнительных изменений. Это объясняется тем, что некоторые характеристики деталей, например контрольные точки для предварительной механической обработки, являются общими для всех вариантов их исполнения, так как они подвергаются механической обработке на од-

Рисунок 4

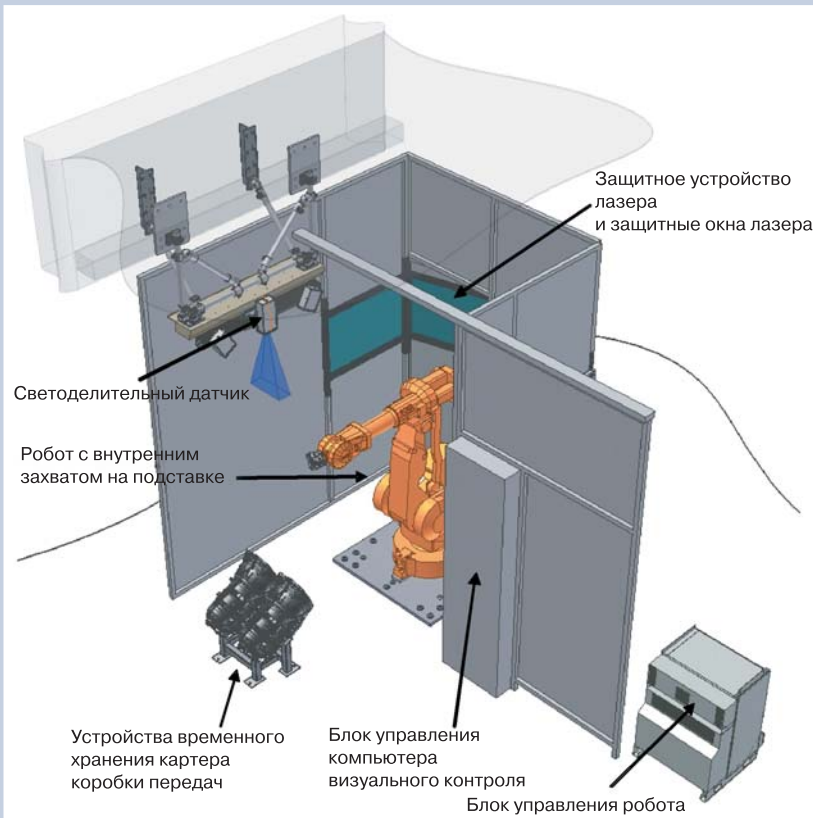


Схема камеры контроля

ном оборудовании на всем протяжении технологической линии. Если типы производимой продукции отличаются большим разнообразием, то максимум, что может потребоваться, — это смена устройства захвата.

- При жестко заданном времени производственного цикла может быть предпринят ряд различных проверок с использованием метода произвольной выборки с целью обнаружения систематических дефектов на самой ранней стадии.
- Кроме робота, для работы с деталями не требуется никаких дополнительных устройств. Робот обеспечивает фиксацию и освобождение деталей, располагает их в различных контейнерах или, в зависимости от результатов измерений, перекладывает на ленты других конвейеров. При использовании

робота с дополнительной системой детектирования с камерой, можно проверять и детали, перемещаемые вручную.

Необходимость трехмерной технологии сбора данных измерений

В настоящее время автоматический визуальный контроль в литейном производстве основан в первую очередь на получении и обработке одно- и двумерных изображений каждого контролируемого объекта. В большинстве случаев используются полутоновые (черно-белые) камеры, позволяющие получить изображение рассматриваемой поверхности. Цветные камеры в литейном производстве используются реже.

Обычно наибольшее внимание обращается не на яркость или цвет поверхности, а на форму объекта и

ее отклонения от заданной геометрии. При соответствующем подборе оптического оборудования и особом внимании к способам подсветки и наблюдения некоторые проблемы успешно решаются и с использованием двумерных изображений, например контроль качества литейных стержней и форм с использованием надежно зарекомендовавшего себя принципа теневой модуляции [1, 2] или проверка вентиляционных прорезей дисков автомобильных тормозов с использованием силуэтной методики [3, 4].

Тем не менее для решения ряда задач важна трехмерная технология сбора данных измерений. Триангуляция — это метод, наиболее часто используемый для выполнения вертикальных измерений, т. е. измерения расстояний в поле зрения камеры [3, 5].

Основной принцип действия этого метода представлен на рис. 2, а. Сильно сфокусированный луч света (обычно луч лазера) направляется на объект для измерения глубины. После отражения фиксируется отклонение траектории луча от линии проекции.

Высота исследуемого объекта вычисляется по положению изображения светового пятна на датчике, обладающем чувствительностью к изменению этого положения. Этот метод имеет высокую степень независимости от отражающих свойств поверхности. Однако система измерения не должна действовать как зеркало или тело, поглощающее весь падающий на нее свет, иначе свет просто не попадет в датчик. Кроме того, она должна быть достаточно непроницаемой, чтобы свет не мог проникнуть сквозь объект, сделать световое пятно расплывчатым и исказить результат измерения. Эти два требования выполняются всегда при проверке необработанных отливок.

При проверке же обработанных деталей (особенно с полированной поверхностью это необязательно). Некоторые ограничения налагаются при измерении вертикальных

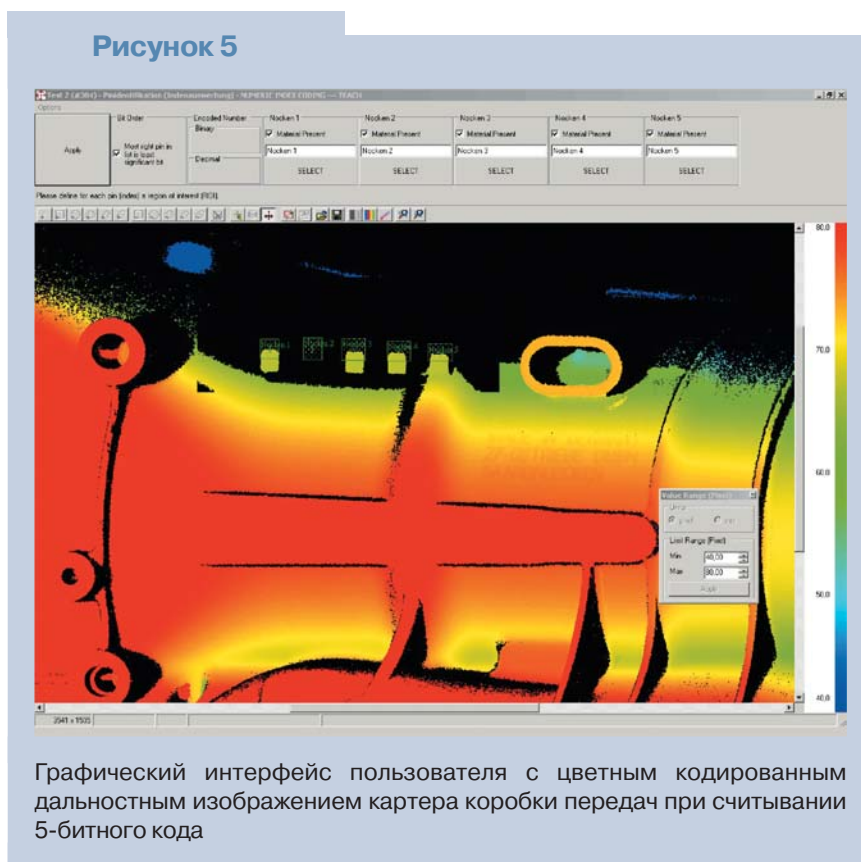
боковых поверхностей: в этом случае движение падающего или отраженного луча может быть затенено, как показано на [рис. 2, б](#).

С помощью рассмотренной методики для каждой точки можно получить трехмерное измерение. Таким образом, для обследования всей поверхности требуется продолжительное двухмерное сканирование. Для ускорения этого процесса часто используют технологию секционирования света; она представляет собой обобщение описанной выше методики и работает селективно. Вместо одного луча света на поверхность падает световой пучок, и вместо точки на ней будет видна линия, деформация которой может нести информацию о соответствующей высоте.

Специальные камеры со встроенной функцией предварительной обработки могут записывать несколько тысяч профилей высоты в секунду. Следовательно, одно только одномерное сканирование — например поступательное движение луча вдоль продольно расположенных деталей или вращательное движение для осесимметричных объектов — тел вращения оказывается достаточным для получения полного профиля высоты.

Светоделительный датчик, показанный на [рис. 3](#), специально разработан для системы 3D-Flexinspector. Он может двигаться по линейной оси, отличающейся высокой динамичностью и точностью. По обеим сторонам центральной камеры с целью минимизации «слепых» участков располагаются лазеры; различные углы триангуляции позволяют попеременно использовать записываемый диапазон высот для получения достижимого разрешения по высоте, необходимого для данной задачи.

Каждое сканирование занимает около секунды и позволяет получить около 5 млн. трехмерных точек. Обнаружение отклонений происходит еще секунду спустя, и, таким образом, контроль проходит за промежутки времени, соответ-



ствующие длительности производственного цикла. Достижимая разрешающая способность зависит от ряда конструктивных параметров. Типичная система обладает разрешением по высоте 0,05 мм с размером структуры отсчетов изображения 0,2×0,2 мм.

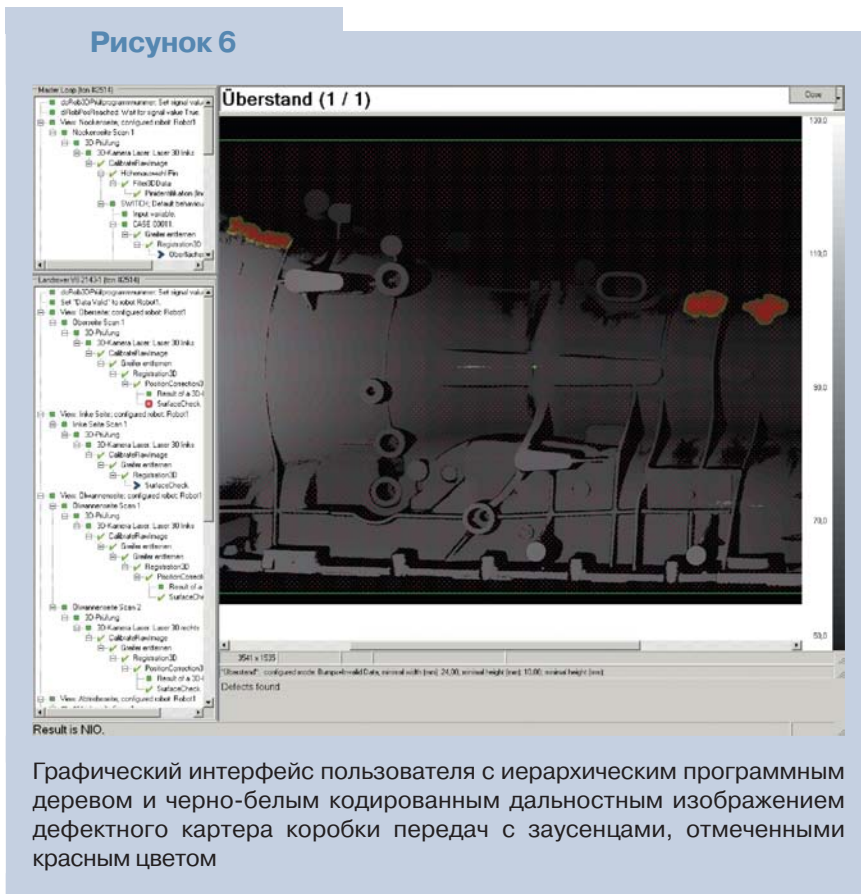
Многообразное использование

Система 3D-Flexinspector была специально разработана для 100%-ного контроля необработанных отливок. В настоящее время ее в основном используют для контроля отливок сложной формы, например головок цилиндров и картеров двигателей, а также наружных поверхностей картеров коробок передач. Система может применяться и для контроля поверхности тормозных дисков и вкладышей цилиндров, а также контроля влияющих на безопасность движения деталей шасси и ходовой части автомобиля, например осей и втулок рычагов подвески.

Обычно контроль проводится после дробеструйной очистки, но его можно также проводить и после дальнейшей механической обработки деталей. Процесс очистки создает поверхности с достаточным рассеянием света, которые очень хорошо подходят для таких измерений. Дальнейшая обработка на металлорежущих станках увеличивает степень зеркального отражения, в результате чего на таких поверхностях могут быть получены неверные данные. В отдельных случаях возможность использования принципа триангуляции должна быть проверена на отобранных деталях. При необходимости можно отрегулировать параметры системы, например, мощность излучения лазера.

Потенциал для рационализации, присущий этому методу, весьма разнообразен. С одной стороны, работники, занятые ранее контролем качества, могут быть переведены на другие участки. Обычно при трехсменной работе для визуального контроля требуется, как ми-

Рисунок 6



Графический интерфейс пользователя с иерархическим программным деревом и черно-белым кодированным дальностным изображением дефектного картера коробки передач с заусенцами, отмеченными красным цветом

нимум, один человек; но часто контроль качества выполняют двое и более работников. Только с этой точки зрения данная система окупится за один-два года. С другой стороны, качество отливок повышается с ростом степени объективности контроля и не зависит от степени утомления работника; все результаты измерений сохраняются в базе данных, и там, где раньше контроль проводился лишь методом случайной выборки, теперь можно проверить все детали. В первую очередь следует отметить, что невыполнение каких-либо измерений и необнаруженные дефекты исключены.

Например, камера контроля качества, показанная на рис. 4, была разработана для проверки всех поверхностей картеров коробок пере-

дач. Ее основными элементами являются светодетальный датчик (см. рис. 3) и робот с внутренним устройством захвата на подставке для перемещения проверяемых деталей и их гибкой и точной установки в нужное положение. Стандартная последовательность проведения проверки приведена ниже.

- Робот, поставленный клиентом (на рисунке не показан), помещает картер коробки передач в блок устройства временного хранения.
- Тот же самый робот удаляет уже прошедший проверку картер коробки передач из блока 2 устройства временного хранения.
- Контрольный робот (показанный на рисунке) удаляет подлежащий проверке картер коробки передач из блока 1 устройства

временного хранения и устанавливает его в первое положение для измерения. Выполняются одно или несколько сканирований на правой поверхности, которая, среди прочего, имеет 5-битный код, позволяющий идентифицировать каждый из 32 различных имеющихся типов картеров коробки передач.

- Затем робот показывает системе контроля пять оставшихся сторон картера коробки передач (верхнюю, левую, масляный поддон, сторону выходного вала, сторону сцепления), а светодетальный датчик при этом проводит одно или несколько сканирований каждой из сторон.
- В итоге робот помещает картер коробки передач в пустой блок 2 устройства временного хранения, а компьютер визуального контроля передают результаты измерений устройству управления.

Программы контроля могут быть конфигурированы с помощью наглядного графического интерфейса (рис. 5). Все результаты контроля сохраняются в базе данных и передаются на конечный рабочий блок; при этом дефекты выделяются особо (рис. 6).

Библиографический список

- [1] Beyerer, J.: A vision of quality. Cast Metal Times. No. 6, 2001, pp. 30–33.
- [2] vom Stein, D., Siebecker, G., Larsen, K. Automatic visual inspection in vertical moulding systems // Casting Plant & Technology. No. 4, 2006, pp. 18–23.
- [3] Beyerer, J., Bierweiler, T., Klawitter, T., vom Stein, D. Automatic inspection of castings // Casting Plant & Technology. No. 4, 2003, pp. 24–35.
- [4] Klawitter, T. Automatic inspection of ventilation slots in cast brake disks // Casting Plant & Technology. No. 2, 2006, pp. 48–51.
- [5] vom Stein, D. Automatic Visual 3-D Inspection of Castings. Proceedings of the 67th World Foundry Congress 2006, pp. 128/1–128/10.