

Е. И. МАРУКОВИЧ, ИТМ НАН Беларуси,
Л. П. МАЛЯВКО, А. П. МАРКОВ, БРТУ,
Е. Г. ШВАРЦ, ПО «МТЗ»

УДК 620.179.16

ОПТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ВНУТРЕННИХ ПОЛОСТЕЙ ЛИТЫХ ИЗДЕЛИЙ

Совершенствование методов и оборудования литейного производства неразрывно связано с аппаратным обеспечением управляемости и контролеспособности готовых изделий и технологических процессов. Для получения качественной и конкурентоспособной продукции необходимы высокопроизводительные, надежные и удобные в эксплуатации приборы и аппараты, обеспечивающие нормируемую точность и достоверность контрольно-измерительных операций [1].

Большое многообразие изделий, габаритность конструкций и широкий диапазон размеров и форм ограничивают возможность создания универсальных технических комплексов автоматического и автоматизированного контроля и управления процессами литья. Особую сложность представляет собой контроль состояния внутренних полостей форм и литых изделий. Массогабаритные параметры особенно корпусных деталей, имеющих многоуровневые труднодоступные каналы, затрудняют доступ к исследуемым зонам и областям. Пространственно-неопределенное расположение дефектов с их многообразием видов и размеров создает дополнительные сложности при решении задач контроля и диагностики отливок со сложнопрофильными полостями.

При обработке технологических режимов, конструктивных схем, испытаниях и доводке опытных образцов необходимы коммуникабельные, удобные в эксплуатации и безопасные информационно-измерительные средства неразрушающего контроля, обеспечивающие практический доступ контролеру в зоны осмотра. С учетом специфики литейного производства предпочтительнее применение переносных, а не стационарных установок и систем из-за дополнительных сложностей, возникающих при транспортировке литых изделий на участок контроля.

Нормативно-справочными данными определены технические условия и требования к контролю литых изделий и информативным параметрам

The methods and means of visual control of the hard-to-reach channels of castings and moulds on the basis of lightguiding systems of the optical pictures visualization are analyzed. The constructions and technical characteristics of hard and flexible endoscopes for control of basic profilecomposite parts are given.

по оценке качества. Однако при определенном виде и характере дефектов их пространственное расположение в отливках и формах носит случайный характер, что усложняет процесс поиска и их идентификации.

В составе операций по оценке качества отливок наиболее трудоемким и ответственным является визуальный осмотр (контроль), которому подвергается 100% готовой продукции. При этом выявляются поверхностные дефекты и несоответствия геометрических форм по ГОСТ 19200-80. В отдельных случаях при наружном осмотре используются оптические приборы для увеличения изображения контролируемого участка (лупы, микроскопы и др.). Контроль внутренних полостей весьма трудоемок и производится выборочно, путем разреза заготовок по интересующим осям.

Применимость традиционных оптических методов и средств ограничена их низкой коммуникабельностью. Массогабаритные параметры и жесткость конструкции не обеспечивают возможность внутривидения сложнопрофильных и труднодоступных каналов отливок (рис. 1).

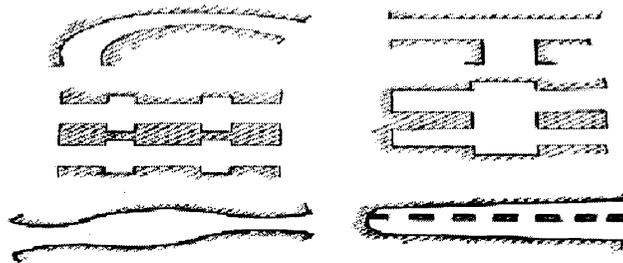


Рис. 1. Схемы профилей наиболее часто встречающихся труднодоступных каналов отливок

В представленных схемах характерных конфигураций конструктивных элементов при всем многообразии выделяются некоторые типовые элементы внутренних полостей с ограниченным доступом. Виды, размеры и расположение дефек-

тов определяются технологическими требованиями и особенностями изготовления. Однако распределение поверхностных дефектов является случайным и статистика их расположения устанавливается при отработке техпроцесса. Особое значение неразрушающий оптический контроль внутренних поверхностей имеет при разработке новых конструкций, технологий и материалов. Посредством внутривидения оператор визуально выявляет и оценивает размерные несоответствия и отклонения от стандартов. Оптические методы и средства наиболее полно соответствуют технико-экономическим, эргономическим и эксплуатационным требованиям, отличаются безопасностью и простотой восприятия информации.

Для проведения дистанционного визуального контроля в последнее время находят применение телевизионные системы и установки с мини- и микрокамерами для визуализации изображений. Техничко-экономические данные таких средств обуславливают их применение для внутривидения удаленных объектов, функционирующих в зонах с ограниченным воздействием акустических, электромагнитных, тепловых и радиационных полей.

Визуальный контроль внутренних полостей посредством волоконно-оптических систем повышает коммуникабельность технических средств и улучшает эргономику. При этом для передачи сформированного на входе изображения используются оптические волокна и граданы. Волоконно-оптическая техника внутривидения литых изделий имеет ряд эксплуатационных преимуществ, которые обеспечивают ей конкурентоспособность и потребительский спрос [2].

При освещении внутренней поверхности контролируемого изделия в местах отклонений от нормы образуется оптический контраст, в котором сосредоточена вся информация о состоянии дефектной зоны. Локализация этого информационного поля, вывод информации потребителю и распознавание дефекта эффективнее решаются методами и средствами волоконной оптики. Посредством световодов оптическое изображение, сформированное на входе оптического канала, непосредственно переносится в места его обработки, что существенно упрощает задачи внутривидения, так как открывает доступ к источникам информации по любой криволинейной траектории. Чтобы улучшить качество внутривидения, осветительный и информационный каналы конструктивно совмещаются, что также обеспечивает согласованное действие источника и приемника оптического изображения и упрощает работу оператора по поиску и локализации дефектных зон.

В оптических схемах контроля внутренних поверхностей применяются схемы прямого и бокового обзора (рис. 2). При прямом обзоре обеспечивается панорамное восприятие осматриваемой полости (рис. 2, а) с одновременной передачей

изображений ближних и удаленных участков. При этом на приемную часть передается большой объем информации, что создает дополнительные сложности при конструировании технических средств. Панорамный обзор затрудняет адресную привязку дефекта в пространстве контролируемой полости, так как изображения разноудаленных участков на приемной части оптической системы накладываются с разной разрешающей способностью и масштабом. В гибких световодных системах приемник изображения случайным образом ориентируется относительно поверхности, что усложняет фиксацию положения дефекта. Применительно к особенностям контролируемого канала (форма поверхности, соотношение длины и про света, кривизна, поперечные кольцевые каналы и т.д.) положение приемника изображения изменяется: меняется угол наклона φ , перемещается по оси X , проворачивается вокруг своей оси на определенный угол α (рис. 2, а).

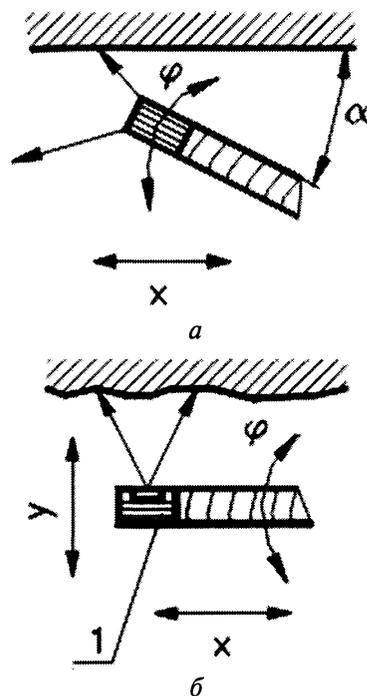


Рис. 2. Схемы прямого и бокового обзора: а – прямой; б – боковой (1 – дистальный конец)

Посредством отклоняющих оптических узлов (зеркал, призм, конусов и т.д.) обеспечивается внутривидение с боковым обзором (рис. 2, б). Оптическое изображение участка воспринимается под некоторым углом зрения и передается на приемную часть системы для дальнейшей подготовки к передаче по транслятору в места непосредственного восприятия оператором. В процессе работы приемная часть либо произвольно ориентирована по отношению к контролируемой поверхности, или фиксируется с помощью вспомогательных устройств. Для удобства использования объектив оптической системы может изменять свое положение в трех координатах, расширяя

функциональные возможности и область применения технических средств контроля (рис. 3).

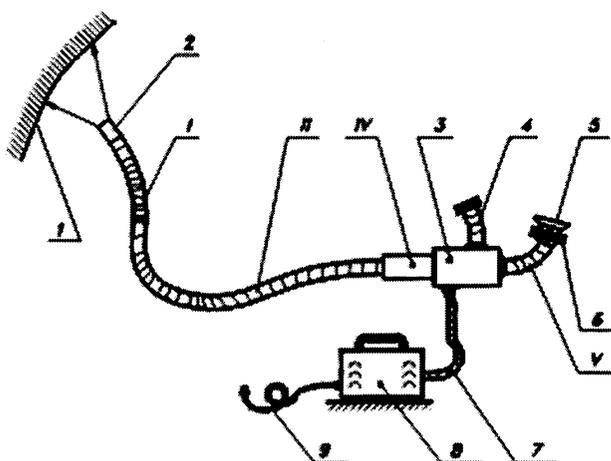


Рис. 3. Конструктивная схема универсального волоконно-оптического эндоскопа: I – управляемая гибкая часть; II – гибкая управляемая часть; III – жесткая часть; IV – полужесткая часть; I – зона осмотра; 2 – дистальный конец; 3 – корпус; 4 – ручка манипулятора; 5 – наглазник; 6 – окуляр; 7 – световодный осветительный жгут; 8 – осветитель; 9 – сетевой шнур

В управляемых эндоскопах объектив прямого и бокового (рис. 3) обзора ориентируется оператором определенным образом относительно исследуемой поверхности, что повышает качество воспринимаемого изображения и эффективность контроля. С этой целью приемник изображения соединен гибкой связью, посредством которой происходит его поворот в пространстве трех координат на требуемый угол. Эндоскоп как оптическая система внутривидения представляет собой совокупность функционально объединенных оптических, электрических, механических и других элементов и устройств (рис. 3).

Конструктивно в нем объединяются управляемая часть I, гибкая управляемая II, жесткая III и полужесткая IV. Изображение контролируемой зоны объекта 1 воспринимается объективом, находящимся внутри дистального конца 2, где происходит его преобразование для передачи по оптическому тракту световода – транслятора для передачи оптической информации через окуляр в форме, доступной для восприятия оператором. В корпусе соединяются оптические и механическая системы внутривидения. Посредством ручки 4 манипулятора положение дистального конца согласованно изменяется относительно объекта, что обеспечивает дистанционный поиск дефектов в пространстве контролируемой полости. Оператор через окуляр 6 с наглазником 5 рассматривает переданное информационной системой изображение и распознает дефект. Для удобства использования положение окуляра за счет полужесткой части IV может изменяться оператором с одновременной регулировкой четкости восприятия. Освещение осматриваемого участка объекта обеспечи-

вается по световодному жгуту 7, который передает излучение от осветителя 8 в заданную зону. Электрическое питание промышленной сети обеспечивается по кабелю 9.

В каждом отдельном случае выбираются наиболее эффективный вид обзора, конструктивная схема и питание эндоскопа. Жесткие эндоскопы с прямым или боковым обзором удобны в эксплуатации, отличаются высокими технологическими характеристиками и просты в исполнении. Высокая надежность и простота обслуживания обеспечивают им высокие потребительские качества и конкурентоспособность.

Структура гибких эндоскопов определяется характерными особенностями объекта контроля, функциональным назначением, требуемыми тактико-техническими, эксплуатационными, стоимостными и эргономическими характеристиками. При контроле сложнопрофильных протяженных внутренних полостей отливок рациональнее использовать гибкий эндоскоп с управляемым дистальным концом. За счет поворота дистального конца и проворачивания эндоскопа по ходу осмотра обеспечивается дефектоскопия внутренних поверхностей с адресной привязкой дефекта по его местонахождению. Для облегчения целенаправленного ввода дистального конца гибкого эндоскопа в заранее установленную зону применяются дополнительные направляющие устройства, которые ориентируют приемник изображения относительно заданного участка.

Внутривидение закрытых поверхностей осуществляется по различным схемам поиска: панорамный обзор, сканирование в одной или двух плоскостях, сканирование в пространстве и стробирование. При панорамном обзоре дистальный конец при вводе в закрытую полость случайным образом ориентируется (располагается) относительно поверхности и оператор, последовательно продвигая и проворачивая эндоскоп, обследует отдельные участки, выявляет существующие (имеющиеся) отклонения и делает вывод о наличии, характере и предполагаемых параметрах дефекта. В связи с тем что приемник оптического изображения в процессе поиска изменяет свое положение, соответственно, но случайным образом, изменяется и масштаб (воспринимаемого) передаваемого изображения. Эта особенность затрудняет оператору оценить численные значения выявленного дефекта.

При сканировании дистальный конец в процессе осмотра поворачивается оператором в одной или двух плоскостях, а положение эндоскопа остается неизменным. За счет манипулятора оператор может сканировать осматриваемую поверхность в пространстве контролируемого объема. Дистанционная механическая связь обеспечивает синхронность перемещений дистального конца и ручки манипулятора, что существенно упрощает поиск, локализацию и координацию работы оператора.

Рассмотренные схемы поиска ограничиваются статическим состоянием объекта. Стробосканирование позволяет осматривать объекты в режиме работы. При этом за счет синхронизации частот излучения и движения объекта создается эффект неподвижного изображения контролируемого элемента, узла, детали и т.д. объекта. Сканирование и стробирование расширяют функциональные возможности эндоскопов, но значительно усложняется конструкция и возрастает стоимость технических средств. В большинстве своем такие устройства являются узкоспециализированными и применяются при контроле и диагностике сложных, дорогостоящих объектов, особенно на стадии испытаний, доработке конструкций и технологических режимов.

Для внутривидения удлиненных изделий со специфическими элементами, такими, как горловины, полости со ступенчатым профилем, эффективно применение эндоскопа с управляемым дистальным концом (рис. 4).

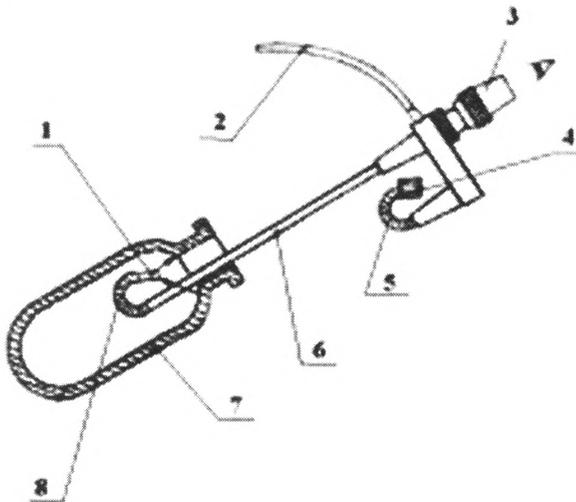


Рис. 4. Дефектоскопия внутренней полости эндоскопом с манипулятором: 1 – дистальный конец; 2 – световодный жгут; 3 – окуляр; 4 – регулятор резкости объектива; 5 – ручка манипулятора; 6 – тубус; 7 – объект контроля; 8 – гибкая управляемая часть

Управление положением дистального конца 1 осуществляется ручкой-манипулятором 5, в которую встроен регулятор резкости объектива 4 приемной части. Применение такого технического решения позволяет упростить процесс управления дистальным концом и настройки резкости 4 объектива 3, что существенно улучшает качество восприятия изображения осматриваемого объекта 7. Освещение участка осматриваемой поверхности контролируемого объекта осуществляется по световодному жгуту 2.

Осветительная, информационная и механическая системы компонуются в жестком тубусе, соединенном с корпусом. Соединение дистального конца с корпусом производится посредством гибкого металлорукава 8, соединенного с трубкой 6.

Устройство визуального контроля внутренних каналов отливок корпуса распределителя Р80 (рис. 5) строится на основе жесткой световодной системы формирования и передачи воспринимаемого изображения. В стандартной отливке корпуса распределителя визуальному контролю подвергаются внутренние поверхности сквозных вертикальных и замкнутых горизонтальных кольцевых каналов. Анализ размещения внутренних каналов показывает, что для внутривидения целесообразно использовать световодные эндоскопы с совмещенными осветительными и информационными оптическими каналами. Чтобы исключить невидимые зоны, которые неизбежны при панорамном обзоре, в конструкции эндоскопа применена схема бокового обзора. Такой обзор при внутривидении внутренних полостей с ограниченными размерами позволяет проводить осмотр с мелкой детализацией поверхностей и увеличением изображения контролируемого участка.

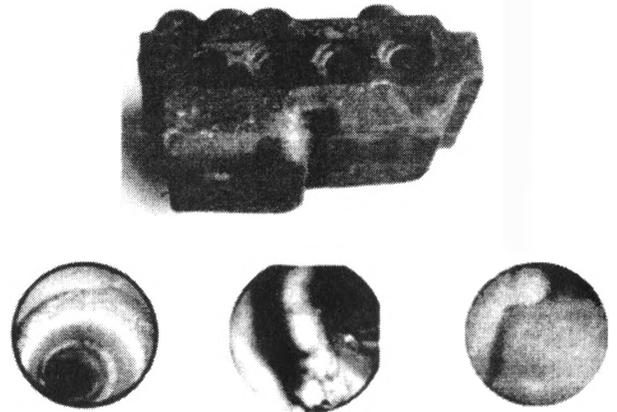


Рис. 5. Отливка корпуса распределителя. Фотографии дефектных участков объектов контроля

Установка визуального контроля корпуса распределителя (рис. 6) включает в себя оправку 1 с фиксатором положения, посредством которой эндоскоп 3 с окуляром 5 ориентируется относительно отливки 6. Для перемещения в вертикальном положении и осевого вращения на соответствующий угол эндоскоп располагается в плунжере 2, где и происходит фиксация его положения, соответствующего определенному каналу корпуса. В плунжере предусмотрены кольцевые канавки с подпружиненным фиксатором, что значительно упрощает работу оператора, так как объектив эндоскопа жестко ориентирован относительно контролируемого элемента внутренней поверхности объекта.

Осветительная система устройства по жгуту 4 создает необходимую освещенность только на участке поверхности, осматриваемой оператором. Изображение осматриваемой области изделия через объектив, градан-транслятор и окуляр передается непосредственно оператору.

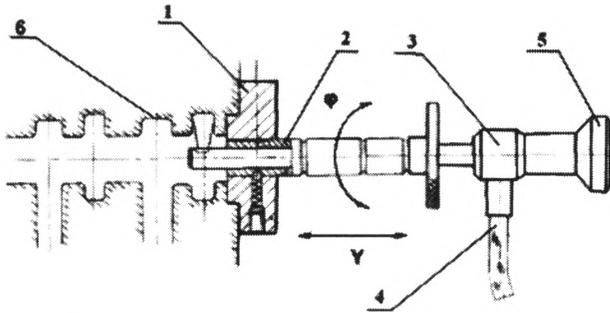


Рис. 6. Схема установки визуального контроля: 1 – оправка; 2 – фиксатор положения; 3 – жесткий эндоскоп; 4 – осветительный жгут; 5 – объектив; 6 – отливка

В таком исполнении максимально реализуются преимущества световодных систем внутривидения и оптимально обеспечиваются эксплуатационные, информационные и эргономические преимущества технических средств визуального контроля.

Применение волоконно-оптических эндоскопов определяется технико-экономической эффективностью и спецификой функционального назначения их для решения конкретных технологических задач. В странах СНГ эндоскопическая

техника производится как рядом частных фирм, так и госпредприятиями. В Республике Беларусь по индивидуальным заказам изготавливаются управляемые гибкие эндоскопы с диаметром рабочей части 4, 6, 8, 10, 12 мм и длиной от 400 до 3000 мм. Угол отклонения дистального конца составляет 180°.

Жесткие эндоскопы с градиентной оптикой имеют длину рабочей части до 180 мм с углом обзора от 70 до 90°.

В источниках освещения используются как ксеноновые, так и галогенные лампы с сетевым или автономным питанием от аккумуляторов. На основе данных базовых моделей эндоскопов создаются системы визуального контроля объектов энергетики, машиностроения и других областей промышленности.

Литература

1. Технология технического контроля в машиностроении: Справ. пособ. / Под общ. ред. В.Н. Чупырина. М.: Издательство стандартов, 1990.
2. Плетнев С.В., Потапов А.И., Марков А.П. Волоконно-оптические методы и средства дефектоскопии. Науч.-метод. справ. пособ. СПб.: ЛИТА, 2001.