

3. Патент Республики Беларусь № 338 от 02.05.01 г. Упругая центробежная муфта.
4. Патент Великобритании № 1365793, МКИЗ С23с 13/08, 1974 г.
5. А. с. СССР № 779441, МКИЗ С23с 13/08, оф. бюл. № 42, 1980 г.
6. Патент Республики Беларусь № 1221 от 29.05.03 г. Дозирующий питатель.
7. *Гринкевич И.В.* Вибротранспортирование ферромагнитных порошков при электромагнитной наплавке // *Материалы, технологии, инструменты.* 2001. № 2. С. 97 – 101.

УДК 620.179.16

Е.И. МАРУКОВИЧ, д-р техн. наук (ИТМ НАН Беларуси),
Л.П. МАЛЯВКО, А.П. МАРКОВ (БГУИР)*, Е.Г. ШВАРЦ (РУП «МТЗ»)

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].

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 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 отработке технологических режимов, конструктивных схем, испытаниях и доводке опытных образцов необходимы коммуникабельные, удобные в эксплуатации и безопасные информационно-измерительные средства неразрушающего контроля, обеспечивающие контролеру доступ в зоны осмотра. С учетом специфики литейного производства предпочтительнее применять переносные, а не стационарные установки и системы

* Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники.

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 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 идентификации дефектов.

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 ГОСТ 19200 – 80. В отдельных случаях при наружном осмотре для увеличения изображения контролируемого участка используются оптические приборы (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.

В схемах характерных конфигураций конструктивных элементов (рис. 1) при всем многообразии выделяются некоторые типовые элементы внутренних полостей с ограниченным доступом. Виды, размеры и расположение дефектов определяются технологическими требованиями и особенностями изготовления. Но распределение поверхностных дефектов является случайным, и статистика их расположения устанавливается при обработке технологического процесса.

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.

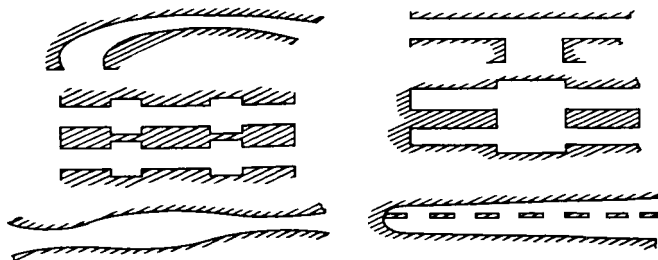


Рис. 1. Схемы профилей наиболее часто встречающихся труднодоступных каналов отливок

Для проведения дистанционного визуального контроля в последнее время находят применение телевизионные системы и установки с мини- и микрокамерами. Техничко-экономические показатели 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 ее 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 осуществляются методами и средствами волоконной оптики. Посредством световодов оптическое изображение, сформированное на входе оптического канала, 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 совмещают, 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.

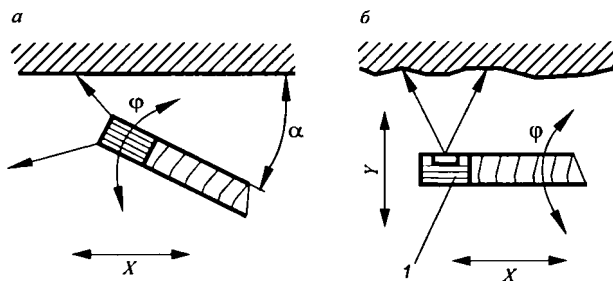


Рис. 2. Схемы обзора:
а – прямого; б – бокового; 1 – дистальный конец

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 разным 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 просвета, кривизна, поперечные кольцевые каналы и т.д.) приемник изображения меняет угол наклона φ , перемещается по оси X , поворачивается вокруг своей оси на определенный угол φ (рис. 2, а).

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, либо фиксируется с помощью вспомогательных устройств. Для удобства пользования объектив оптической системы может изменять свое положение в трех координатах, расширяя функциональные возможности и область применения технических средств контроля.

В управляемых эндоскопах объективы прямого и бокового обзора ориентируются оператором относительно исследуемой поверхности, что повышает качество воспринимаемого изображения и эффективность контроля. С этой целью приемник изображения соединен со световодом гибкой связью, посредством которой происходит его поворот в пространстве 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, гибкая неуправляемая, жесткая и полужесткая. Изображение контролируемой зоны объекта воспринимается объективом, находящимся внутри дистального конца, где происходит его преобразование для передачи по оптическому тракту световода-транслятора оптической информации через окуляр в форме, доступной для восприятия оператором. В корпусе соединяются оптические и механические системы внутривидения. Посредством ручки манипулятора положение дистального конца согласованно изменяется относительно объекта, что обеспечивает дистанционный поиск дефектов в пространстве контролируемой полости. Оператор через окуляр с наглазником рассматривает переданное информационной системой изображение и распознает дефект. Для удобства пользования положение окуляра за счет полужесткой части может изменяться оператором с одновременной регулировкой четкости восприятия.

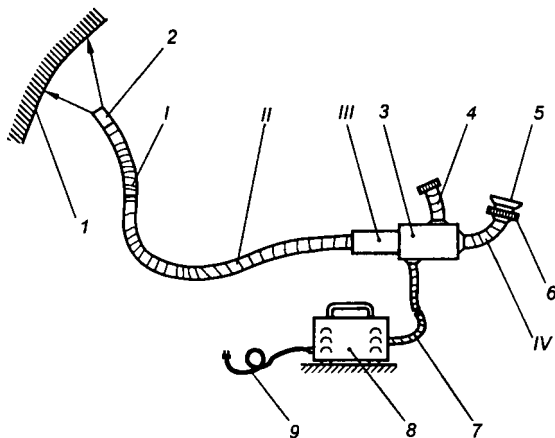


Рис. 3. Конструктивная схема универсального волоконно-оптического эндоскопа: I – гибкая управляемая часть; II – гибкая неуправляемая часть; III – жесткая часть; IV – полужесткая часть; 1 – зона осмотра; 2 – дистальный конец; 3 – корпус; 4 – ручка манипулятора; 5 – наглазник; 6 – окуляр; 7 – световодный осветительный жгут; 8 – осветитель; 9 – сетевой шнур

Освещение осматриваемого участка объекта обеспечивается по световодному жгуту, который передает излучение от осветителя в заданную зону. Электрическое питание промышленной сети обеспечивается по сетевому шнуру.

В каждом отдельном случае выбирают наиболее эффективные вид обзора, конструктивную схему 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 высокие потребительские качества и конкурентоспособность жестких эндоскопов.

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 поворачивая эндоскоп, обследует отдельные участки, выявляет 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, изменяется и масштаб воспринимаемого изображения. Эта особенность затрудняет оценку числовых значений 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.

Применение рассмотренных схем поиска ограничивается 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 объекта.

Сканирование и стробирование расширяют функциональные возможности эндоскопов, но значительно усложняется их конструкция и возрастает стоимость. В большинстве своем такие устройства являются узкоспециализированными и применяются при контроле и диагностике сложных, дорогостоящих объектов, особенно на стадии испытаний, доработки конструкций и технологических режимов.

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

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

Осветительная, информационная и механическая системы komponуются в жестком тубусе, соединенном с корпусом. Соединение дистального конца с корпусом производится посредством гибкого металлорукава, соединенного с тубусом.

Устройство визуального контроля внутренних каналов отливок корпуса распределителя (рис. 5) строится на основе жесткой световодной системы формирования и передачи воспринимаемого изображения. В стандартной отливке корпуса распределителя визуальную проверку 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 ограниченных размеров позволяет проводить осмотр с мелкой детализацией поверхностей и увеличением изображения контролируемого участка.

Установка визуального контроля корпуса распределителя (рис. 6) включает оправку с фиксатором положения, посредством которой эндоскоп с объективом ориентируется относительно отливки. Для перемещения в вертикальном положении и осевого вращения на соответствующий угол эндоскоп располагается в фиксаторе положения, 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 создает необходимую освещенность только на участке поверхности,

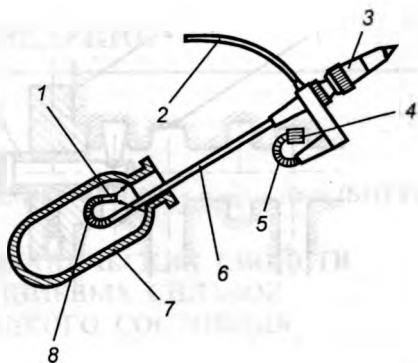


Рис. 4. Дефектоскопия внутренней полости эндоскопом с манипулятором:
 1 – дистальный конец; 2 – световодный осветительный жгут; 3 – окуляр; 4 – регулятор резкости объектива; 5 – ручка-манипулятор; 6 – тубус; 7 – объект контроля; 8 – гибкий металлорукав

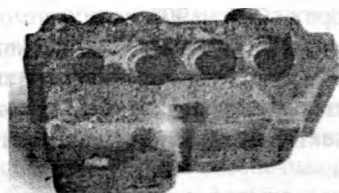


Рис. 5. Отливка корпуса распределителя и фотографии дефектных участков объектов контроля

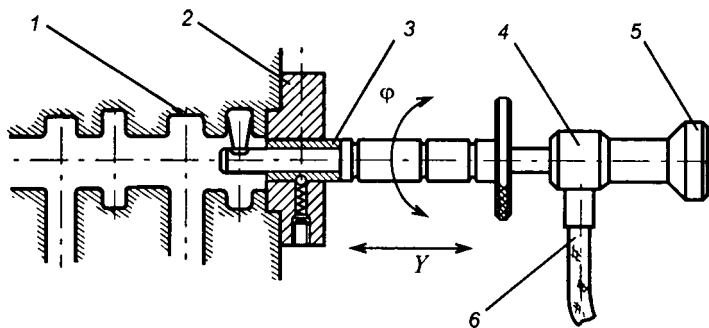


Рис. 6. Схема установки визуального контроля:

1 – отливка; 2 – оправка; 3 – фиксатор положения; 4 – жесткий эндоскоп; 5 – объектив; 6 – осветительный жгут

осматриваемой оператором. Изображение области изделия, осматриваемой через объектив, градан-транслятор и окуляр, передается непосредственно оператору. В таком исполнении максимально реализуются преимущества световодных систем внутривидения и обеспечиваются оптимальные эксплуатационные, информационные и эргономические преимущества технических средств визуального контроля.

Применение волоконно-оптических эндоскопов для решения конкретных технологических задач определяется их технико-экономической эффективностью и спецификой функционального назначения. 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 и угол 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 / Под общ. ред. В.Н. Чупырина. М.: Изд-во стандартов, 1990. 400 с.
2. Плетнев С.В., Потапов А.И., Марков А.П. Волоконно-оптические методы и средства дефектоскопии. СПб.: ЛИТА, 2001. 312 с.