



Visual scanning of internal surfaces and twisting channels with endo-, bore-, tele- and videoscopes raises technological control and crack detection to the modern level of hardware support of casting and metallurgy technologies.

*Е. И. МАРУКОВИЧ, ИТМ НАН Беларуси,
А. П. МАРКОВ, Д. В. ЕФИМЕНКО, ГУ ВПО БРУ,
В. Вл. КОННОВ, ЗАО НПЦ «Молния»,
А. В. ИВАНОВ, УП «Белгазпромдиагностика»*

УДК 681.7.068:627.74

ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЕ СКОПИРОВАНИЕ ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ В ЛИТЬЕ И МЕТАЛЛУРГИИ

Совершенствование техники и технологий литья и металлургии неразрывно связано с аппаратным обеспечением технологического контроля управления отдельными операциями и всей совокупностью в едином пространственно-временном сосредоточении и распределении их свойств и параметров. В таком взаимозависимом состоянии наиболее полно проявляется информационно-технологическая обусловленность первичной информации. Наряду с масштабным поэтапным обновлением и комплексной автоматизацией всего производственно-технологического процесса важное значение имеет автоматизация наиболее трудоемких, ответственных и рутинных операций в единой системе обеспечения технико-экономической эффективности и качества производимой продукции [1].

Как наиболее высокий уровень организационно-технологического исполнения автоматизация контрольно-измерительных операций представляет собой многоступенчатый преобразовательный процесс, адаптированный к задачам, условиям, технике и технологиям литья и металлургии. При этом в автоматизированном контроле особое значение имеют формирование и локализация источников первичной информации о наличии и характере зарождающихся отклонений от нормированных параметров.

Визуальное проявление таких отклонений предполагает ориентированное скопирование участков, зон или объемов контролируемых объектов, т.е. таким путем получается как бы фотографическое отображение реального состояния воспринимаемого среза в контролируемых пространственно-временных координатах. По существу технологии и техника копирования технологических отклонений предполагают получение численных характеристик оптических свойств, приспособлен-

ных для визуального восприятия. И всякое скопирование с помощью информационно-измерительных средств учитывает спектрально-энергетическое взаимодействие видимого и прилегающего к ним областей спектра излучений с физически неоднородными технологическими отклонениями.

Методами визуально-оптического копирования учитываются физико-технические особенности более эффективной визуализации отклонений в их относительном проявлении при взаимодействии излучений различного спектрально-энергетического состава. Для эффективного копирования в дефектоскопии, интроскопии, термоскопии, спектроскопии и других способах визуального представления пространственно-временного распределения информационно-физических параметров контролируемых объектов необходимо соответствующее стимулирующее воздействие некоторыми излучениями [2, 3].

Из используемых в неразрушающих методах контроля излучений более комфортными, эргономически и биологически адаптированными к зрительному восприятию являются оптические [4, 5]. Технологический контроль труднодоступных и невидимых невооруженным глазом состояний и свойств оптико-электронными способами позволяет расширить диапазон практического применения аппаратных средств непосредственно для задач управления операциями и процессами литья и металлургии, в том числе и в реальном времени.

Структура оптического копирования определяется характером информационных процессов, реализуемых с помощью технических средств для выполнения поставленной задачи (рис. 1). Если при наблюдении оператором с помощью технических средств непосредственно воспринимается отображаемое объектом изображение участка

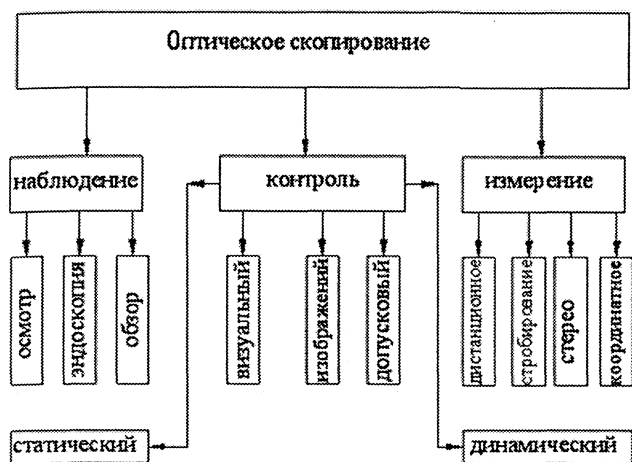


Рис. 1. Структура визуального скопирования в технологическом контроле

(зоны), то при контроле и измерениях выполняются уже на первичном уровне информационно-преобразовательные операции по сопоставлению получаемых сообщений с эталоном или образцом (контроль), или с мерой физической величины.

Наблюдение за объектом предполагает осмотр оператором заданного объема и скопирование его состояния. При этом для скопирования труднодоступных участков используются техника и технологии эндо- и видеоскопирования. В отдельных случаях оператор производится визуальный обзор с выявлением некоторых аномальных ситуаций, не предусмотренных нормативными требованиями, например, наличие инородных материалов (ветошь, инструмент и т. д.) или обрывы тяг, проушин и другие ненормальности.

Информационно-преобразовательные операции при автоматизированном контроле позволяют обработать копируемое изображение. Путем простейших сравнений отклонений размеров, форм, рельефа (профилей), цвета, интенсивностей представляется первичная информация наблюдателю в простейшем виде: «да» или «нет», в «норме» или «выходит из нормы», в «допуске» или «нет» и т.д. При этом оператор вооружается несложными техническими средствами, позволяющими приблизить копируемое изображение и его визуально воспринять. В данном случае оператор дает качественную оценку копируемого изображения [5].

При измерениях в копируемое изображение вносится изображение меры (единицы измерения), что позволяет получить численные значения в принятых системах измерений. Таким путем получают количественную оценку изображений копируемых зон (параметров) в абсолютном или относительном выражении. Современные методы и средства позволяют производить дистанционные и телеметрические измерения на основе стереостробоскопических эффектов с координатной привязкой и документированием результатов.

Всякое скопирование контролируемых объектов связано с выполнением операционно- поиско-

вых и информационно-физических действий. При выполнении контрольно-измерительных операций для оператора представляет интерес проявление источников первичной информации, т.е. в некотором пространственно-временном распределении выявляются специфические зоны, участки, диапазоны с наличием определенных или неопределенных технологических отклонений и за счет «копирования» их изображений имеется возможность дальнейшей локализации, дистанцирования и отображения этой «копии» в формализованном виде, приближенном к получателю (потребителю). Все дальнейшие операции с формализованными носителями первичной информации выполняются в соответствии с заданным алгоритмом.

Особую сложность в скопировании изображений (отображений) материальных объектов представляют труднодоступные поверхности сложно-профильных полостей (извилистых каналов), крупногабаритные и длинномерные изделия с изгибами и ответвлениями. Изменяющийся рельеф поверхности, различие в форме и размерах поперечных сечений и другие специфические особенности конструктивного исполнения создают дополнительные трудности в решении задач копирования, дефектации и диагностики. И в любом случае система копирования должна быть адаптирована к реальным условиям и реальным объектам, чтобы эффективно выявлять и достоверно оценивать появляющиеся отклонения в их нормированных пространственно-временных координатах и свойствах.

Возможности современной эндоскопической техники ограничены информационно-физическими эффектами световодной и геометрической оптики по передаче и преобразованию оптических излучений. Жесткость линзовых смотровых приборов и гибкость волоконно-оптических эндоскопов определяют технологические возможности оптических дефектоскопов. Оптические характеристики стекла (полимеров), как светопроводящей и светоизолирующей среды, и технологии их производства практически ограничивают длину световодных каналов единицами метров (1–5 м) и разрешающую способность средств оптического копирования (50–1,0 лин/мм). Однако информационно-преобразовательная основа (диэлектрик) исключает влияние на информационные процессы различного рода внешних дестабилизирующих излучений, что обеспечивает дополнительные преимущества.

Различные разновидности приборов оптического копирования определяются как спецификой объекта контроля, так и областями и отраслями практического применения. Жесткие технические эндоскопы в виде смотровой трубки используются для визуального наблюдения и осмотра особенно ответственных поверхностей, деталей и узлов в случае затруднительного доступа к

ним. Сверхтонкими эндоскопами можно проконтролировать объекты с малыми размерами отверстий (лючков, например), используемых для ввода рабочей (погружной) части эндоскопа (рис. 2).

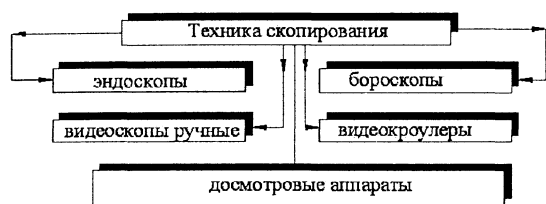


Рис. 2. Типы промышленных устройств

Гибкие и полугибкие (полужесткие) оптоволоконные эндоскопы обеспечивают визуальный контроль объектов, имеющих сложную геометрию и сложноконтурные каналы прохода рабочей части к осматриваемым поверхностям.

Промышленные фиброскопы с дистанционным управлением движения приемника изображения (дистального конца) при небольших габаритах позволяют пробираться к исследуемой зоне по извилистому пути даже до таких участков, которые были бы недоступны без частичной или полной разборки (разреза) обследуемого изделия.

Бароскопы (фокусирующие) и минибароскопы характеризуются встроенными фокусирующими устройствами, позволяющими получать резкое изображение от крупного плана до бесконечности. Многообразие типов и конструкций обеспечивает многофункциональный выбор средства для данного анализа через технологические лючки размером менее 1,7 мм.

Автономные блоки питания повышают мобильность эндо-, боро- и фиброскопов, а наличие всевозможных принадлежностей (фото- и кинотехника) позволяет документировать изображения контролируемых поверхностей.

Разновидностью средств оптического копирования являются электронно-оптические приборы. В отличие от других способов визуализации изображений внутренних поверхностей в структуре электронно-оптических эндоскопов предусматривается персональный компьютер, воспринимающий отображение наблюдаемого места через тонкий зонд. С гибкого зонда цветное изображение дистанцируется через интерфейс USB. Основу конструкции таких средств составляет миниатюрная цифровая ПЗС-камера с автоматическим фокусированием. Встроенная в гибкий зонд ПЗС-камера воспринимает отображение недоступных для невооруженного глаза мест в реальном времени. Световодная подсветка с регулируемой яркостью создает эффективную освещенность без искажений в цветопередаче. Проложенный внутри зонда кабель обеспечивает питание камеры, подсветку наблюдаемого места и передачу изображения через интерфейс на компьютер. За счет адаптера-насадки изменяется угол обзора с пря-

мого до 135°. Таким путем обеспечивается визуальный контроль, например, клапанов механизма газораспределения четырехтактного двигателя и верхней части камеры сгорания.

Для вывода и обработки изображений предусматривается соответствующее программное обеспечение, совместимое с операционной системой Windows. Вывод изображения в режиме «реального времени» позволяет выполнять фотографическое документирование и видеозапись с ручным (кнопочным) управлением процессами фотографирования и видеозаписи с возможностью увеличения фиксируемых изображений в 2 раза [5, 6].

В режимах управления предусматривается ручное управление изображениями: ручная регулировка яркости (усиление) и время экспозиции. Манипуляции изображением обеспечивают выполнение операции «стоп-кадр» одной кнопкой с полным или разделенным экраном. В некоторых системах предусматриваются контроль артикуляции во всех направлениях, управление/остановка, «Home», плавно или грубо. Управление источником излучения, обновление программы, в том числе и в полевых условиях, а также дистанционное управление копированием улучшают эргономику и культуру обслуживания таких средств.

В настоящее время быстро развиваются методы и средства оптической видеоскопии. Их дистанционные и телеметрические возможности значительно превосходят характеристики технической и оптико-электронной эндоскопии.

Существующие способы видеоскопирования основаны на пространственно-временной взаимосвязи операций воздействия излучения на материальную поверхность, формирование и локализацию изображения наблюдаемой зоны, каналирование и передачу на расстояние, отображение и программно-алгоритмическую обработку в реальных или фиксируемых пространственных координатах. Такие способы оптического копирования предполагают непрерывное пространственное сканирование материальной поверхности с масштабированием и микропроцессорной обработкой. Реализация оптического копирования такими способами наряду с информационно-технологическими преимуществами отличается и существенными информационно-физическими ограничениями.

Видеотелевизионные каналы теоретически охватывают большие расстояния, а современные мини- и микровидеокамеры по своим массогабаритным параметрам не уступают миниэндоскопам. Возможности оптического копирования в цвете значительно повышают информативность отображаемых изображений. В то же время цветные мониторы с комплектной микропроцессорной обработкой обеспечивают мобильность, оперативность и производительность оптического контроля.

Для видеоскопической техники с ее пространственными возможностями визуального контроля и дистанцирования изображений на большие расстояния особую проблему составляет синхронное продвижение видеоприемника и излучателя внутри протяженных и изогнутых полостей. При этом дистанционная ориентация приемника изображений должна обеспечивать оперативность управления как процессами ориентации в ограниченном пространстве, так и спектрально-энергетическими параметрами излучателя и всей системы видеоскопирования, в том числе контроль за манипуляцией изображениями, артикуляцией, операциями, обновлением программ и т. д.

В современных видеоскопах с ручным управлением и видеокроулерах

с автономными приводами применяются различные приспособления для контактного перемещения приемника изображения и излучателя относительно контролируемой поверхности (рис. 3).

Для панорамной ориентации приемника изображения 1 и осветителя используются разнообразные центрующие устройства с набором сменных насадок 2 (рис. 3, а).

В таком простейшем исполнении положение приемника изображения жестко ориентировано относительно осматриваемой поверхности, а спаренные насадки 2 гибко связаны через боуден 4. Телесвязь приемника обеспечивается через кабель 3.

В отдельных конструкциях видеокроулеров подвижное шасси 1 с приводными роликами 2 дополняется устройством ориентирования приемника 3 и излучателями 4 (рис. 3, б). С помощью такого устройства приемник с излучателем могут синхронно осуществлять возвратно-поступательное перемещение с некоторым поворотом для бокового осмотра.

Для контроля протяженных изделий с изменяющимися профилями (поперечными сечениями) приемник 1 и излучатели 2 базируются на самодвижущейся тележке с приводными роликами 3 и шарнирно подпружиненными ползьями 4 с упорными роликами 5 (рис. 3, в).

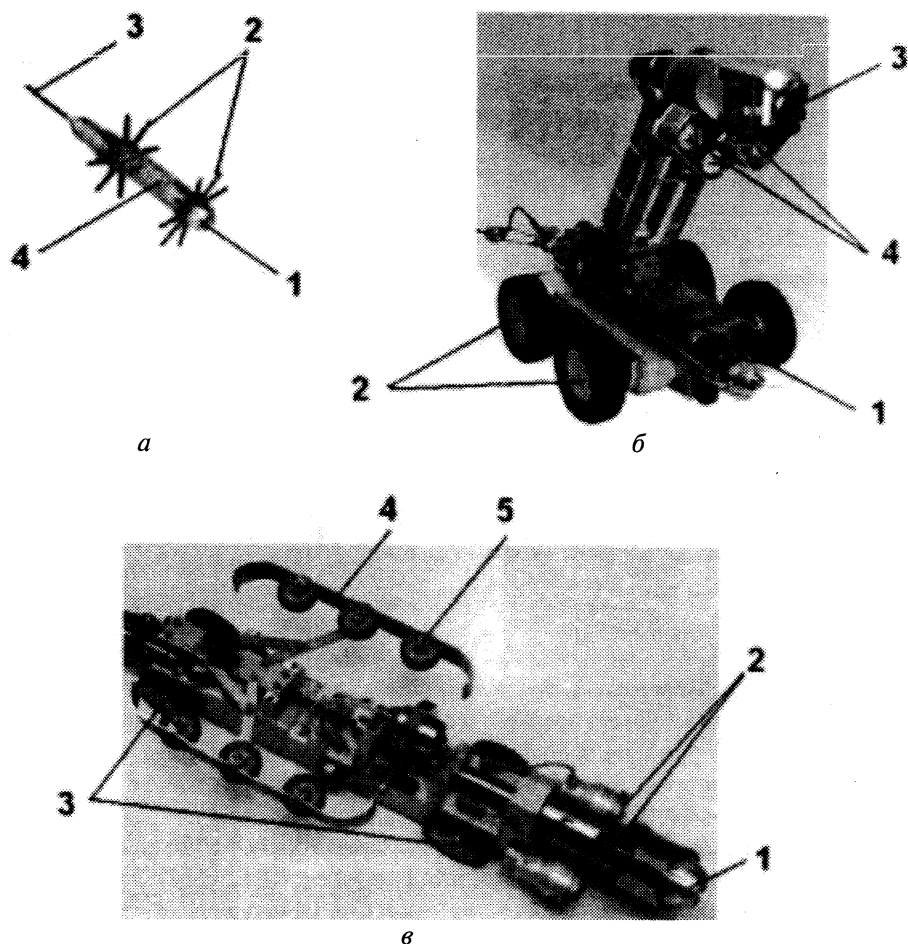


Рис. 3. Конструктивные схемы механизмов видеокроулеров

Разрабатываемые и производимые Белорусско-Российским университетом совместно с Институтом технологии металлов НАН Беларуси системы визуального контроля ВТП-03-1 и ВТП-04-1 адаптированы к специфике объектов контроля, их конструкции и условиям работы. Основополагающий принцип «три в одном» обеспечивает некоторую многофункциональность применительно к скопированию внутренних поверхностей протяженных изделий, пространств, вертикальных шахт и колодцев и досмотра транспортных средств, тары и внутренних полостей с целью быстрого поиска скрытого содержимого для ряда специальных целей. Блочно-модульное исполнение устройств единой системы оптического скопирования позволяет реализовывать различные комбинации видеоскопов применительно к задачам потребителя (рис. 4).

В устройствах ВТП-03-1 и ВТП-04-1 три типа видеомодулей оснащены гибким, полужестким кабелем или телескопической штангой, что позволяет видеоскопировать поверхности различных габаритов и конструктивному исполнению отливок и форм.

Наряду со специфическими системами скопирования в технологиях литья и металлургии средства визуального осмотра и наблюдения находят применение для оперативного контроля

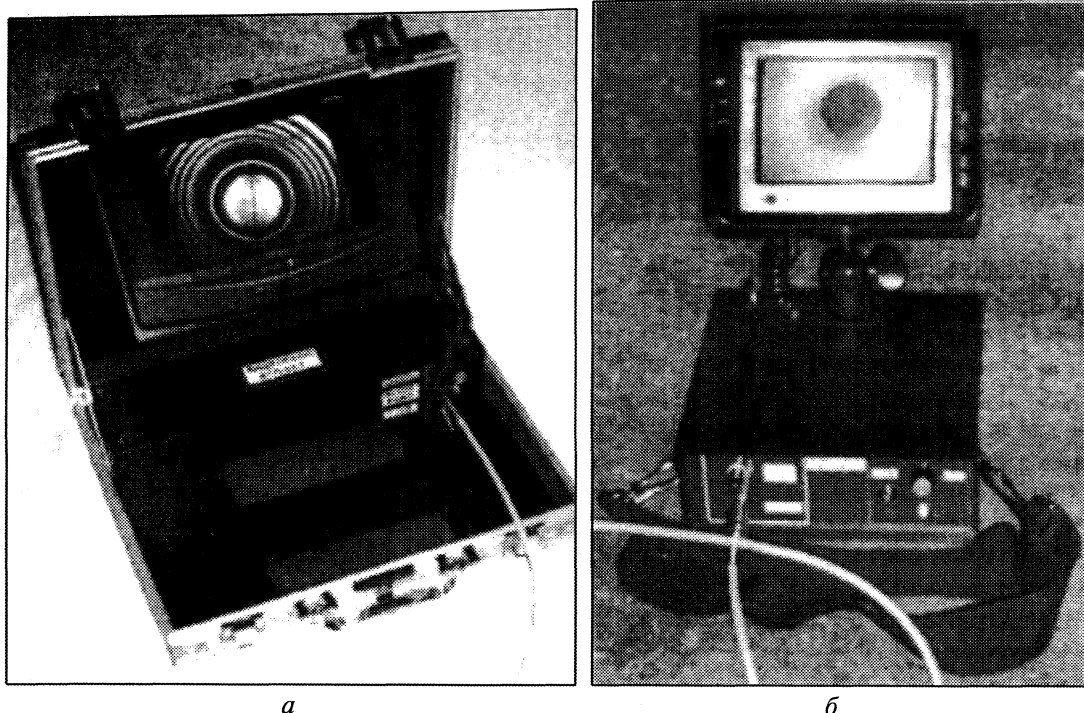


Рис. 4. Общий вид устройств отображения многоцелевых видеоскопов ВТП-03-1 (а) и ВТП-04-1 (б)

теплообменников и отопительных систем, парогенераторов и турбин, танкеров и судов, объектов различных видов транспорта, холодильников и рефрижераторных систем сборных пунктов промышленных сетей трубопроводов. Особую эффективность обеспечивают техника и технологии скопирования в авиационной и космической промышленности, энергетике, перерабатывающей промышленности: перегонка, химическая, нефте- и газотранспортировка, судоходство, таможенных и других органах [6–8].

Литература

1. Марукович Е.И. Методология совершенствования технологического контроля в литейном производстве / Е. И. Марукович, А. П. Марков, В.Вс. Коннов, А.А. Кеткович // *Литье и металлургия*. 2007. № 4 (44). С. 96–103.
2. Соснин Ф.Р. Неразрушающий контроль: Справ. в 7-ми т.; Под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 1: В 2-х кн. Визуальный и измерительный контроль. М.: Машиностроение, 2003.
3. Неразрушающий контроль. В 5-ти кн. Кн. 4.: Контроль излучениями: практ. пособ. / Б.Н. Епифанцев, Е.А. Гусев, В.И. Матвеев и др.; Под ред. В.В. Сухорукова. М.: Высш. шк., 1992.
4. Марукович Е.И. Оптический контроль внутренних полостей литых изделий / Е.И. Марукович, А.П. Марков, Е.Г. Шварц и др. // *Литье и металлургия*. 2005. №4 (32). С. 101–105.
5. Визуально-оптическая дефектоскопия и размерный контроль в литейном производстве / Е.И. Марукович и др.; Под общ. ред. Е.И. Маруковича. Мн.: Белорус. наука, 2007.
6. Плетнев С.В. Волоконно-оптические методы и средства дефектоскопии: Справ. пособ. / С.В. Плетнев, А.И. Потапов, А.П.Марков. СПб.: ЛИТА, 2001.
7. Бычков О.Д. Контроль внутренних поверхностей. М.: Энергия, 1975.
8. Техника и технологии оптической визуализации внутренних поверхностей труб / С.С. Сергеев, А.П. Марков, А.В. Иванов, В.А. Левчук // *Надежность и безопасность магистрального трубопроводного транспорта: Материалы 6-й Междунар. науч.-техн. конф. Новополюцк: УО «ПГУ»*. 2007.