



*The peculiarities of physical-optical conversions in visual control of internal surfaces of castings and molds using lightguiding, video and optoelectronic technique are examined.*

*Е. И. МАРУКОВИЧ, ИТМ НАН Беларуси,  
А. П. МАРКОВ, ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет»,  
А. В. КОНОВ, ЗАО НПЦ «Молния»,  
Д. А. ГОРБУНОВ, НПП «Опттех»,  
Е. В. БЕЛЯНКО, ИИТ*

УДК 620.179:681.7.068

## ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ ВИЗУАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОТЛИВОК И ФОРМ

С развитием литейного производства создается материально-технологическая база для совершенствования продукции приборостроения и отраслей машиностроительного комплекса, где свыше половины составляют литые изделия. Многофакторная и взаимно обусловленная зависимость отдельных составляющих производства качественного литья усложняет контроль и управление всеми операциями такого сложного процесса [1–3].

Рациональное использование материалов, современных конструкций и технологий, энергетических и людских ресурсов требует современной оперативной информации о технологической реализуемости каждой операции, чтобы при заданных исходных материалах и режимах работы обеспечить гарантированное количество и качество продукции. Уже при разработке технических заданий ставится задача обеспечения контролеспособности отдельных наиболее ответственных операций, деталей и узлов и всего литейного производства. Использование современной контрольно-измерительной техники и информатики позволяет существенно сократить затраты и время на конструкторские разработки, технологическую и организационную подготовку производства, промышленных испытаний и сертификацию.

Несовершенство технологий, разброс параметров исходных материалов, режимов работы и сырья приводят к возникновению различных аномальных отклонений и экстремальных ситуаций. Задача поиска и выявления таких отклонений еще больше усугубляется, когда в традиционных технологиях нормативно-технической документацией не предусмотрены соответствующие методы и средства пооперационного контроля [4, 5, 7].

Комплексом конструкторско-технологических и технико-экономических мероприятий предусматривается ряд мер по обеспечению качества

литья. При этом особое внимание уделяется анализу и своевременному установлению причин возникновения различных отклонений, выявлению характера их проявления и признаков появления отказов, дефектов и аномальных ситуаций. Особое значение имеют случайные многофакторные причинно-следственные связи, определение которых в процессе разработки, создания и испытаний новых изделий весьма проблематично.

При доработке технологического процесса, опытно-модельном производстве и длительной эксплуатации изделий накапливается некоторый опыт. Такие статистические данные позволяют скорректировать документацию, режимы работы оборудования и усовершенствовать как технологию литья, так и технику контроля.

Неприспособленность новейших технологий, отставание традиционного методического и аппаратного обеспечения применительно к стремительно развивающейся технике приводит к различным техногенным ситуациям. Формирование источников информации о таких состояниях позволяет своевременно информировать о проявлении и месте возникновения технологических отклонений. В единстве физико-технических и информационных процессов литья как раз и формируются источники первичной информации о качестве производимой продукции.

При большом многообразии конструкций, разновидностях отливок и технологий их получения имеется значительный арсенал традиционных методов и средств технологического и неразрушающего контроля. Однако по своим тактико-техническим характеристикам и функциональным возможностям визуальный контроль обеспечивает ряд технико-экономических преимуществ.

Методология визуального контроля внутренних поверхностей отливок и форм строится на следующих предпосылках:

- нормальная поверхность с нормированными физико-техническими характеристиками не содержит первичной информации для контроля;
- источниками первичной информации являются некоторые неоднородности в состоянии поверхности, инородные тела, отклонения в размерах и форме и т.д.;
- визуальный контроль представляет собой систему взаимосогласованных операций по физико-оптическому преобразованию от предметной (материальной) поверхности до ее абстрактного оптического отображения;
- форма представления абстрактного отображения адаптируется непосредственно к зрительному восприятию;
- цепь последовательных преобразований первичной информации представляет собой систему визуализации неоднородности поверхности;
- изображение неоднородности дистанцируется из труднодоступного для наблюдателя пространства.

В визуальных методах и средствах за счет физико-оптических преобразований на первичном уровне реализуется кратчайший путь в информационной цепи от источника, присущего материальному объекту, до его абстрактного отображения у получателя. При высокой чувствительности и быстродействии естественная доступность оптической информации создает принципиальную возможность более тщательного и низкочастотного оптического контроля в комбинации с другими неразрушающими методами [6, 8, 11, 13, 14].

Физико-оптическая техника и технологии обеспечивают более рациональное проявление и восприятие источников первичной информации литейного производства. Оптические методы визуализации полей различной физической природы отличаются своей оперативностью, мобильностью и эргономикой. Мы без сомнения верим тому, что видим и воспринимаем натурально. И для такого видимого восприятия на обследуемый участок поверхности необходимо воздействовать определенным излучением, в отраженной части которого отображаются количественные и качественные характеристики неоднородности.

В процессе первичных преобразований текущая информация приводится к виду, когда по имеющимся концептуальным моделям с установленными характерными признаками абстрактное отображение неоднородности идентифицируется с определенной группой и видом дефекта.

В многообразии элементов и дефектов отливок особую сложность представляет визуальный контроль состояния внутренних поверхностей, особенно разноуровневых многоэлементных каналов с прямолинейной и сложноконтурной поверх-

ностью. В таких отливках осмотру подвергаются сквозные вертикальные и замкнутые разноуровневые каналы. С учетом конструктивных и технологических особенностей и статистических данных на внутренних поверхностях и в местах с изменениями размеров и сечений более вероятными являются геометрические отклонения, пригары, просечки и другие нарушения сплошности [7, 15, 16].

В общем виде визуальный контроль внутренних поверхностей отливок и форм включает в себя операционно-поисковые и информационно-технологические операции. По установленным правилам и в соответствии с нормативными документами применительно к каждому специфическому объекту (зона, участок, операция и др.) осуществляется поиск контрастного места на поверхности. Как потенциально информативная такая экстремальная зона посредством технических средств тщательно просматривается. При необходимости устанавливается текущее наблюдение за экстремальной зоной с соответствующим видом осмотра и обзора.

В физико-оптических методах физические эффекты проявления некоторой неоднородности с их характерными особенностями преобразовываются в определенный вид оптической информации. Информационная структура первичных преобразований предполагает физическое приспособление оптической техники к задачам контроля и дефектоскопии отливок и форм, т.е. структура визуального контроля аналогична другим методам неразрушающего контроля и в некоторой мере представляется адаптивной оптической системой. По существу, любые методы неразрушающего контроля как-то адаптируются к реальному объекту, условиям и особенностям его функционирования. Традиционно оптические системы структурно приспособлялись к оптической системе глаза. Поэтому физические эффекты проявления неоднородностей реального объекта с другой стороны системой преобразований должны в значительной мере приспособляться к получателю информации. Оптимальная структура обеспечивает максимальную информативность кратчайших преобразований первичной информации с дистанцированием в пункты обработки.

Низкое быстродействие, слабая помехозащищенность и ограниченная оперативность характерны для малоэффективных традиционных методов неразрушающего контроля, которые не позволяют мобильно настраиваться и адекватно реагировать на специфические условия эксплуатации контролируемого объекта. Некоторые методологические ограничения, низкоинтенсивные источники излучений и информации, наличие информационного фона и дестабилизирующих воздействий, сокращение временных интервалов для восприятия, ограниченный доступ к информативным зонам и помехозащищенность в процессе

преобразований и передачи – все это существенно снижает эффективность применения традиционных методов в литейном производстве. Визуализация акустических, тепловых, радиационных, электромагнитных и других первичных отображений объекта весьма усложнена в реализации технологических операций адекватного преобразования информации.

В визуализации труднодоступных неоднородностей внутренних поверхностей важное значение имеет распределение информационных операций физико-оптического преобразования. При этом важно структурно определить, какие действия сосредоточить на физическом уровне (принципы и эффекты), а какие осуществлять в оптическом и оптико-электронном канале. Здесь могут быть эффективно применены и хорошо изученные адаптивные механизмы и схемы (диафрагмирование, аккомодация, адаптация и др.). Но эти виды приспособлений направлены на оптимальное выполнение функции по обнаружению потенциальных дефектов, их идентификации и распознаванию, количественных и качественных аналитических оценок. В таких структурах возникают сложности по спектральному согласованию, дистанционной передаче и управляемому поиску.

Физико-оптические структуры в основном предназначены для создания условий непосредственного восприятия «невидимого» состояния поверхности невооруженным глазом. Посредством воздействий физических излучений на физико-оптический элемент первичного уровня изменяется природа носителя первичной информации. Любая физическая величина при таком воздействии преобразуется в функционально зависимые параметры светового поля с характерными интенсивностью, спектром, пространственными координатами и другими характеристиками. Если на первичном уровне в оптическом канале оперируют с интенсивностью, спектром, фазой и другими параметрами светового потока, то на следующем уровне уже локализуется контрастный участок (зона) и формируется его изображение в аналоговой или дискретной форме. Дистанционирование первичного отображения к его адекватному представлению у потребителя также производится в оптическом канале. Однако дистанционное приближение изображения неоднородности на внутренней поверхности ограничено способностью к аккомодации. Дальнейшее увеличение разрешающей способности при физико-оптическом преобразовании и передаче требует новых оптических принципов.

На массогабаритные параметры систем физико-оптических преобразований существенное влияние оказывают дифракционные эффекты и другие дестабилизирующие воздействия. При этом разрешающая способность ограничена не только геометрическими размерами функциональных

элементов системы, но и эффективной длиной волны светового излучения. Такая особенность преобразовательного процесса должна учитываться в структурном преобразовании путем согласования габаритных размеров, размеров разрешаемых элементов, регистрирующих и передающих сред и др.

Специфика оптических преобразований и функциональных элементов предопределяет структуру информационной системы визуализации изображений. Здесь основополагающими являются следующие положения:

- визуализация изображений неоднородности складывается из процесса формирования оптического изображения, его передачи и регистрации;
- оптический канал формирования и передачи изображения системно объединяет аналоговые и дискретные элементы;
- преобразование и регистрация световой интенсивности и спектра производится посредством материальных сред;
- качественное отображение и адекватная сходимость изображения с реальной неоднородностью обеспечиваются способностью системы приспособляться к внешним условиям;
- традиционная аналоговая (геометрическая) оптика ограничена габаритами и информационными возможностями преобразования и передачи оптической информации в пространстве с ограниченным доступом.

Итак, структура физико-оптических преобразований в визуально-оптической системе внутривидения должна с хорошим разрешением воспринимать интенсивность света, передавать и воспроизводить отчетливое изображение неоднородности. Разрешение и качественное отображение ее изображения во многом определяется способностью оптического канала формализовать и достоверно передать характерные параметры светового потока.

Для достоверной оценки состояния внутренней поверхности необходимо обеспечить поэлементный просмотр контрастного изображения неоднородности. При этом важное значение имеют формирование направленного излучения определенной интенсивности и спектра, согласованная ориентация источника и приемника излучения и возможности управления пространственным положением светового луча относительно внутренней поверхности.

В общем виде задача физико-оптических преобразований заключается в таком алгоритме. На внутренней поверхности отливки с определенными физико-техническими характеристиками (нормальными) выявляется потенциально ненормальная зона, в которой над неоднородностью формируется контрастный участок. В оптическом контрасте обнаруживаются количественные и качественные особенности неоднородности и по ним идентифицируется дефект.

Однако эта задача усложняется тем, что месторасположение, размеры и физические характеристики неоднородности случайны. И здесь наряду с наличием концептуальной модели различных дефектов важное значение имеет обоснованный выбор спектрально-энергетического воздействия излучением, его пространственно-временные характеристики и информационные возможности. Эффективность проявляемости неоднородности поверхности оценивается как принципиальная возможность выбранного метода и структуры системы визуализации (внутривидения), так и принятым критерием выявляемости.

В технике неразрушающего контроля и дефектоскопии широко применяется несколько видов воздействия излучений на макроскопическое тело: рентгеновское или  $\gamma$ -излучение, проникающее излучение неэлектромагнитной природы (электроны, нейтроны и т.д.), электромагнитное и тепловое, механическое воздействие или акустическое излучение и др. Эффект информационного воздействия всякого излучения заключается в том, чтобы стимулировать обследуемую поверхность к проявлению ею зон с ненормальным состоянием. Основная задача воздействия излучением состоит в том, чтобы создать при взаимодействии с поверхностью источник информации, сформировать его максимальную интенсивность при возникновении и восприятии этой информации в соответствии с принятым критерием выявляемости [7, 8].

Более эффективным критерием выявляемости является соотношение информативного параметра над центром сосредоточения неоднородности (потенциальный дефект) и над однородной поверхностью. Но на характер такого формируемого контраста значительное влияние оказывают помехи (шум). Определяющими в процессе формирования контраста являются мультипликативные шумы (неоднородности микроструктуры поверхности, микрорельеф, случайные колебания источника излучения и т.д.), тем более что уровень таких помех пропорционален интенсивности стимулирующего излучения. Составляющая помех в виде аддитивного шума (собственные шумы отдельных элементов в цепи преобразований) не зависит от общего уровня излучения и имеет значительно меньшее влияние.

Формирование контраста, особенно при различных дестабилизирующих воздействиях, связано с целенаправленной ориентацией стимулирующего излучения относительно обследуемой зоны поверхности. Недостаток интенсивности излучения даже при согласованных размерах участка и светоприемника снижает чувствительность последнего. С учетом шумов она может оказаться и недостаточной. В такой системе контроля элементы контрастной зоны могут быть даже неразличимы. Стремление к большему сосредоточению интенсивности излучения путем увеличения раз-

меров приемных элементов системы для обеспечения требуемого разрешения ограничено массогабаритными параметрами отливок и сечениями технологических каналов.

В обеспечении адекватного отображения неоднородности (контраста) ее формализованному изображению у получателя важное значение имеет дистанцирование (видеопередача). При этом наряду с эффективной выявляемостью, подготовкой и локализацией необходимо обеспечить каналированную передачу с требуемыми помехозащищенностью и быстродействием.

В приборостроении и отраслях машиностроительного комплекса используемый ассортимент исходных материалов для отливок и форм весьма разнообразен: серые и белые чугуны, бронзы, латуни, литейные алюминиевые, магниевые и цинковые сплавы, литейные тугоплавкие сплавы на основе титана, ниобия, ванадия, молибдена, вольфрама и др.

Даже при учете специфики литья основным в формировании качества отливок и форм выступает весь комплекс операций по проектированию, технологической подготовке и производству изделий. Однако определяющими операциями этого процесса являются технологические.

В общем случае технологический процесс получения отливок включает в себя изготовление модели, выполнение литейной формы, плавку металла и заливку его в формы, выбивку застывших отливок из форм, обрубку и очистку литья. При всей значимости процесса литья технологический контроль также играет важную роль в обеспечении и управлении качеством всего литейного производства.

В комплект модельно-опочной оснастки по изготовлению форм входят модели, подмодели, подопочные и сушильные плиты, стержневые ящики, опоки, приспособления для контроля форм и стержней и др. Модели и стержневые ящики изготавливают цельными, разъемными из двух и более частей и с отъемными частями. Такие конструктивные особенности способствуют улучшению технологии подготовки и выемки отливки из формы и стержня из ящика. Для удержания формовочной смеси и образования песчаной литейной формы используют стальные, чугунные или из алюминиевых сплавов опоки. И здесь визуальный контроль весьма эффективен.

Более производительными, экологически и эргономически прогрессивными являются специальные методы литья под давлением и центробежное литье, непрерывное литье в кокиль и др. Такие технологии позволяют получать и профильные отливки повышенной точности, с гладкой поверхностью, минимальными припусками или полностью исключаящими их. В этих и других методах технологический контроль на всех стадиях производства (от проектирования до

финишных операций) дает возможность выявлять, анализировать и корректировать как конструкцию, так и технологические режимы по отдельным операциям. При всем многообразии и случайном пространственном распределении дефектов они имеют и некоторую технологическую обусловленность. Строгое соблюдение технологий упреждает появление различного рода аномальных отклонений. Как расположение отливки в форме, совершенство литниковой системы, обеспечивающие направленную кристаллизацию, так и составы формовочных и стержневых смесей, режим термической обработки, температура и скорость заливки оказывают существенное влияние на качество получаемой на выходе отливки.

Специфичность аномальных отклонений в производстве отливок из цветного литья проявляется в дефектах структуры металла, изменениях размеров и формы, в различного рода неметаллических включениях. Поверхностные неоднородности в виде сплошной оксидной пленки или отдельные раковины с заполнением (и наросты) присущи также отливкам из магниевых сплавов [12].

Дефекты усадочного происхождения проявляются в виде неплотной структуры на поверхности (червоточины, рыхлоты), газовой пористости, горячих или холодных трещин, а также коробления.

Значительное место в усадочных дефектах занимают флюсовые мелкие и крупные включения, ужимины, королек и пригар.

Другие виды технологических отклонений связаны с изменениями оптико-механических свойств, микроструктуры, а также несоответствием размеров и конфигурации отливки нормативным требованиям. Они требуют для своего выявления специальных методов и средств параметрического контроля.

Следствием несовершенства конструкции изделий являются конструктивные дефекты и по результатам контроля корректируется конструкторско-технологическая документация. Нарушения в режимах и пространственно-временных отклонениях проявляются в производственно-технологических дефектах, для обнаружения которых также необходимы соответствующие методы и средства.

Применительно к характерным особенностям неоднородностей (и дефектов) выявляемость их различными методами отличается значительным разбросом оценочных баллов. В приведенной таблице для некоторых дефектов литья оптический контроль занимает преобладающее место. Однако для контроля внутренних поверхностей традиционные методы и технологии практически неприменимы (выделены в нижней строчке таблицы).

**Выявляемость некоторых дефектов отливок различными методами дефектоскопии**

Вид дефекта	От	Рг	Мг	Эт	Тп	Кл	Эм	Ат
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Недолив	2	3	0	0	0	2	0	2
Неслитина	2	4	0	0	0	0	0	2
Обжим	1	3	0	0	0	0	0	3
Подутость	2	4	0	0	0	0	1	2
Перекося	1	3	0	0	0	0	0	3
Разностенность	0	0	0	3	0	0	3	5
Залив стержневой	1	2	0	0	0	0	0	2
Незалив	2	5	0	0	0	0	0	0
Вылом	2	4	0	0	0	2	0	3
Включения металлические	0	4	0	0	0	0	0	4
Включения неметаллические	0	3	0	0	0	0	0	4
Нарост	2	3	1	1	1	0	0	2
Залив	4	0	0	0	0	0	0	0
Засор	2	2	0	0	1	0	0	0
Окисление	1	0	0	0	0	2	2	3
Поверхностные повреждения	4	2	0	0	0	3	0	2
Складчатость	4	2	0	0	0	3	0	2
Грубая поверхность	4	1	0	0	0	3	0	2
Шероховатость газовая	3	1	0	0	0	2	0	1
Трещина горячая	0	3	0	0	0	2	2	4
Раковина газовая	0	3	0	0	0	0	0	3
Раковина ситовидная	0	3	0	0	0	0	0	2
Раковина усадочная	0	4	0	0	0	0	0	4
Раковина песчаная	0	3	0	0	0	0	0	3
Раковина шлаковая	0	4	0	0	0	0	0	3
Поверхность внутренняя	0	0	0	0	0	0	0	0

Примечание: От – оптический; Рг – рентгеновский; Мг – магнитный; Эт – электрический; Тп – тепловой; Кл – капиллярный; Эм – электромагнитный; Ат – акустический.

Техника и технологии контроля объединяются единым функциональным назначением: представить потребителю для зрительного восприятия изображение неоднородности поверхности. При некотором единстве функционального предназначения техника и технологии визуального контроля отличаются своей спецификой. В условиях литейного производства при больших объемах и разнообразии отливок и форм в большинстве случаев определяющими являются конструктивно-технологические особенности изготовления и контролеспособность. Техничко-экономическая значимость средств контроля определяется их адаптацией (приспособленностью) к конкретному изделию и его технологическому исполнению.

При ограниченной унификации блочно-модульное построение технических средств контроля позволяет создавать типовые изделия с требуемой (заданной) степенью сложности и универсальности (рис. 1). Структурно-модульные различия в конструкции имеют место и в структуре каналов, системе визуализации, осмотра, управления и обработки изображений.

Различия в конструктивном исполнении определяют структуру системного объединения приемника оптического изображения, устройств соединения (связи) и визуального отображения неоднородности. Жесткое, полужесткое и гибкое исполнение отличаются подвижностью соединительной трубки, посредством которой механически защищается оптическая система. Если в жестком исполнении применимость смотрового устройства ограничена только прямолинейной траекторией направления осмотра внутренней поверхности, то в полужестком за счет фиксированной жесткости (рис. 2, а) положение приемника изображения заранее ориентировано по отношению к направлению осмотра (рис. 3).

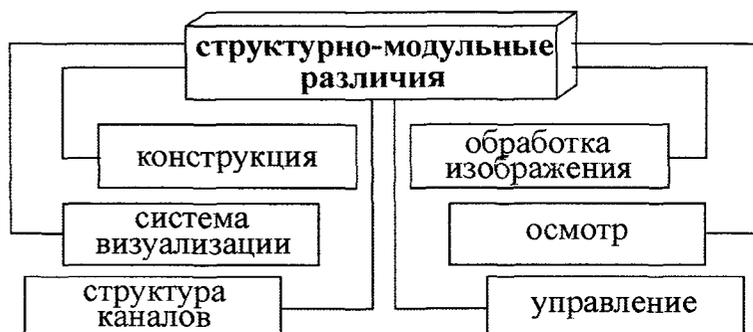


Рис. 1. Структурно-функциональные особенности средств дефектоскопии

При этом конфигурацию полужесткой смотровой трубки 2 повторяет и устройство подсветки 3. Такая заранее запрограммированная направленность может обеспечиваться магнитными, пневматическими и другими устройствами с пространственно ориентированной "памятью". Посредством фотоаппарата 1 наблюдаемое изображение регистрируется на фотопленку.

Современные видеотелевизионные устройства позволяют эффективно применять телескопические конструкции технических средств визуального контроля (рис. 3, б). За счет многосвязного телескопического соединения приемник первичного изображения может удаляться на значительные расстояния. При этом малогабаритная телекамера и телевизионная связь позволяют укладывать кабель на вращающийся барабан. За счет этого габариты устройства в складном состоянии (при хранении и транспортировке) определяются только размерами телескопического звена.

Более совершенной является конструкция волоконно-оптического смотрового устройства, называемого техническим эндоскопом или просто эндоскопом, дистанционным положением приемника изображения (дистального конца). На имитационной схеме (рис. 4) отражаются все функциональные возможности техноэндоскопа.

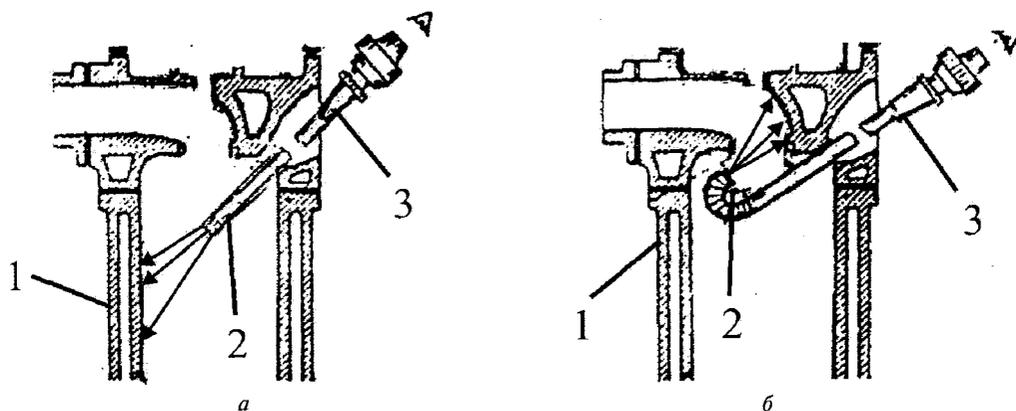


Рис. 2. Визуальная дефектоскопия внутренней поверхности цилиндра жестким (а) и управляемым (б) эндоскопами: 1 — корпус цилиндра; 2 — приемник изображения; 3 — эндоскоп

При всей специфичности объектов и задач схему эндоскопа можно имитировать совокупностью источника освещения, жесткой А, полужест-

кой Б и гибкой В частей, объединенных в единой системе визуализации оптических изображений (рис. 4). В корпусе 1 объединяются

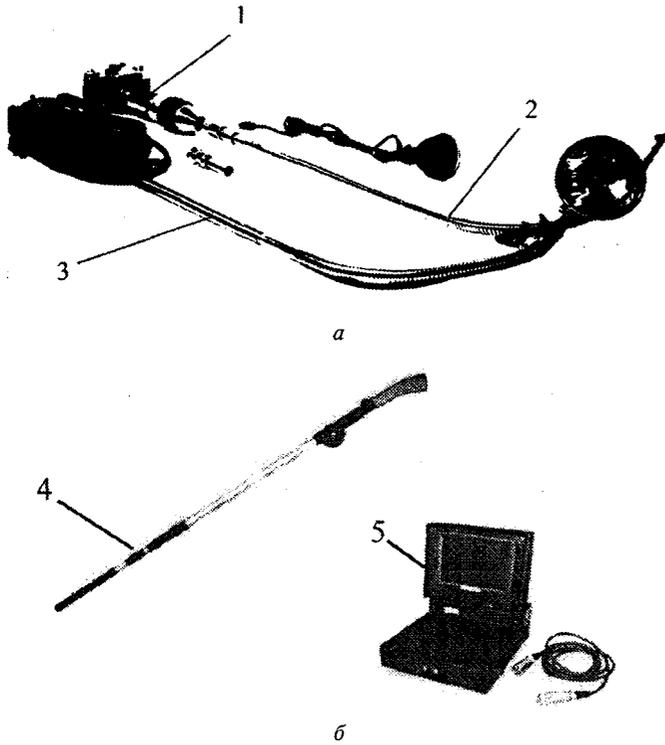


Рис. 3. Общий вид фиксируемого смотрового устройства (а) и видеотелевизионного устройства (б): 1 – фотоприставка; 2 – смотровая труба; 3 – устройство подсветки; 4 – телескопическая штанга с телекамерой; 5 – монитор

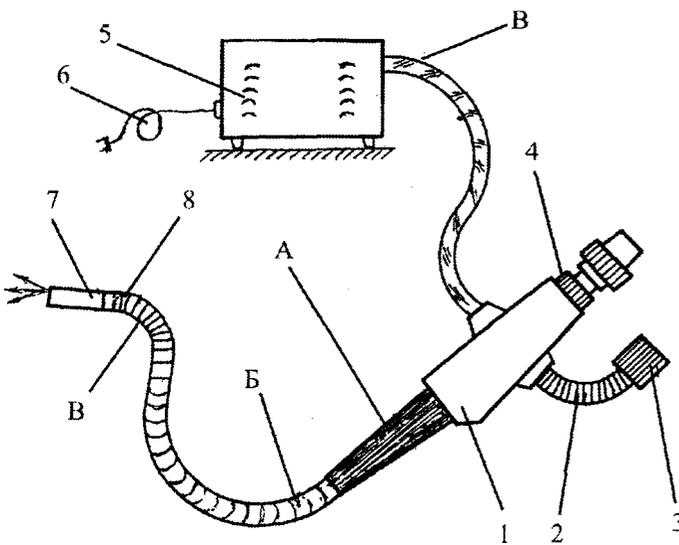


Рис. 4. Имитационная схема системы оптической визуализации изображений внутренних поверхностей: 1 – корпус; 2 – рукоятка; 3 – регулятор резкости; 4 – объектив регулируемый; 5 – осветитель; 6 – шнур соединительный; 7 – дистальный конец; 8 – сочленение гибкое управляемое; А – тубус – жесткая часть; Б – полужесткая изгибаемая часть (фиксируемая); В – гибкая часть

жесткая часть в виде тубуса, гибкая часть осветительного и информационного световодов, ручка манипулятора 2 с регулятором 3 резкости объектива и регулируемый окуляр 4. Посредством световода излучение источника 5, питаемого по шнуру 6 от промышленной электросети,

транспортируется к дистальному концу 7 с гибким сочленением 8.

В таком исполнении эндоскоп представляет более универсальную систему визуального контроля внутренних поверхностей. Объединенные система подсветки и система наблюдения, расположенные в одной защитной оболочке (механическая защита), обеспечивают согласованную ориентацию осветительного и информативного световых потоков, т.е. светим туда, откуда воспринимаем изображение.

В технике визуального контроля важное значение имеет организация рационального поиска источников информации (контрастных участков поверхности). Схемы и технологии технической эндоскопии должны обеспечивать достоверный и высокопроизводительный контроль с высоким быстродействием. Рациональный поиск предполагает быстрое и оперативное отыскание пространственно-временного расположения неоднородностей как источников информации с координатной подвязкой их для отливки любой сложности.

Современные изделия литейного производства отличаются многообразием размеров, форм, материалов, конструктивного исполнения, технологий и другими особенностями. Производство стальных и чугунных корпусных изделий и труб, алюминиевой и медносплавной арматуры, жаропрочных стальных лопаток и титановых изделий, изделий из пластмасс и драгоценных металлов и много других наименований – все они требуют визуального контроля.

Простейшим видом визуального контроля является традиционно выполняемый осмотр. В соответствии с нормативно-технологическими требованиями оператор (контролер) визуально оценивает фактическое состояние поверхности, отдельных ее участков и наиболее склонных к отклонениям элементов, зон и других областей. Для повышения восприимчивости потенциальных отклонений применяются оптические приборы увеличения изображений (лупы, микроскопы, бинокли).

В линзовых приборах визуального осмотра воспринимаемое изображение осматриваемого участка (зоны) формируется и передается оптической системой, построенной на элементах геометрической оптики. Посредством линзовых объективов, длиннофокусных цилиндрических световодов, оптических дефлекторов и других устройств осуществляются целенаправленное преобразование и передача всех элементов структуры осматриваемого предмета с их переносом к адекватному отображению у оператора. С помощью такой техники контролер больше и лучше видит и воспринимает увиденное и с

учетом своего опыта и знаний по концептуальной модели делает заключение о дальнейшей пригодности изготовленного изделия. Такие действия выполняются как при оценке готовой продукции, так и при определении объемов работ и его ремонтпригодности при восстановлении в процессе ремонта.

При всех различиях в технике и технологиях все виды визуального осмотра являются весьма ответственными и трудоемкими, требующими значительного психоэмоционального и физического напряжения (особенно позозрительного). Значимость и объемы работ (все изделия литейного производства подвергаются 100%-ному осмотру) предъявляют повышенные эксплуатационные и эргономические требования к технике и технологиям визуального осмотра. Однако при всем их совершенстве оператор несет персональную ответственность за результаты контроля.

В зависимости от характера пространственного и технологического сосредоточения потенциально значимых аномальных отклонений и источников информации используются различные виды осмотра.

При случайном осмотре пространственно-временное положение участка может быть ограничено только имеющимися статистическими данными. Как пространственные характеристики, так и качественные характеристики возможных дефектов не определены и не предсказуемы. Такая ситуация имеет место при отработке технологических режимов, выборе материалов, испытаниях и доводке конструктивных схем различных отливок и форм. Достоверность результатов определяется только статистическими данными и комбинированным применением разрушающих и неразрушающих методов контроля.

В ориентированном осмотре наблюдатель целенаправленно обследует технологически и конструктивно означенные места (участки, зоны). Такое ориентирование задается заранее предусмотренными технологическими лючками (в авиационно-космической отрасли) или с помощью специальной технологической оснастки. За счет конструктивных обустройств и специальной оснастки (приспособлений) расширяется применимость особенно гибких неуправляемых эндоскопов.

Визуальный контроль внутренних поверхностей является весьма трудоемкой и ответственной операцией и используемые технические средства и технологии контроля должны быть сравнительно просты в пользовании. При всей своей специфичности они должны быть хорошо и быстро осваиваемыми и не требовать высокой квалификации оператора.

Технология дефектоскопии внутренних поверхностей закрытых полостей (типа баллонов) с небольшими сечениями горловин усложняется ограничениями в пространственной ориентации приемника изображения и координатной привязкой дефекта к осматриваемой поверхности как по глубине, так и по радиусу.

С помощью технологической оснастки (направляющей трубки с ориентированным поиском) удается гибким эндоскопом с большой достоверностью дефектоскопировать внутренние поверхности таких отливок. Однако низкая производительность и некоторые неудобства по фиксации положения приемника изображения гибкого эндоскопа затрудняют работу оператора.

Лучшей технологичностью отличается дефектоскопия протяженных замкнутых емкостей с помощью манипулируемого эндоскопа (рис. 5). Эндоскоп *б* в выпрямленном положении наблюдателем вводится через горловину внутрь баллона *2*. Через окуляр рассматривается поверхность днища, подстраивается резкость окуляра *3* и резкость объектива на приемной части *1* посредством регулятора *4*.

Освещенность поверхности регулируется у осветителя по четкому зрительному восприятию структуры поверхности. Для детального просмотра отдельных подозрительных участков ручкой манипулятора *5* сканируется поверхность баллона. При этом дистальный конец отслеживает положение рукоятки, чем обеспечивается пространственное восприятие первичного изображения поверхности по кругу и глубине. Осмотр горловины требует соответствующей ориентации дистального конца *1*. Оптической системой эндоскопа первичное изображение формируется и транспортируется на выходной торец, где с помощью окуляра *3* рассматривается наблюдателем.

Технология визуального контроля эндоскопом с манипулятором является более совершенной и современной и в большей мере соответствует условиям автоматизации такого трудоемкого и весьма ответственного технологического контроля сложных отливок и форм. Однако наряду с потребительской значимостью такой эндоскоп отличается и своей соответствующей стоимостью.

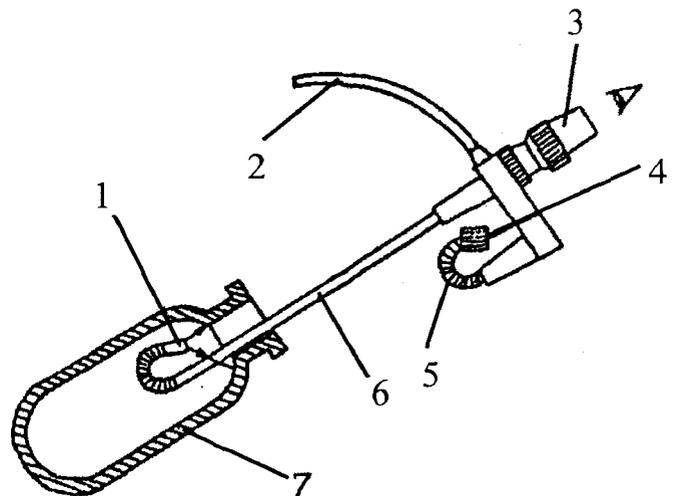


Рис. 5. Схема дефектоскопии внутренней поверхности баллона эндоскопом с манипулятором: 1 - дистальный конец; 2 - световод гибкий осветительный; 3 - окуляр; 4 - регулятор резкости; 5 - ручка манипулирования; 6 - тубус эндоскопа; 7 - баллон

С учетом функционально-стоимостного критерия, трудоемкости, номенклатуры подобных отливок и объемов их производства решается задача технологической применимости таких эндоскопов.

Для литых изделий (длинномерных и корпусных особенно) характерно наличие разнообразных каналов и полостей с труднодоступными участками. При дефектоскопии внутриполостных поверхностей таких многоэлементных отливок применение отдельного типа эндоскопа весьма проблематично. В таких конструкциях отливок эффективнее использовать набор простых по исполнению, недорогих и удобных в работе волоконно-оптических эндоскопов (рис. 6). Жестким эндоскопом 2 с боковым обзором и управляемым дистальным концом осматриваются полости с ограниченным доступом. При осмотре кольцевых каналов эндоскоп проворачивается относительно наблюдаемой поверхности с одной стороны.

Для осмотра поверхности этой же полости в другом углубленном канале этот эндоскоп вводится с другой стороны отливки 1. Осмотр каналов с криволинейной поверхностью удобнее производить гибким эндоскопом 3 с прямым обзором так, чтобы дистальный конец под собственным весом продвигался вдоль этого канала. Жесткий эндоскоп 4 с неуправляемым боковым обзором позволяет детально осматривать различные углубления, при дефектоскопии которых эндоскопом с панорамным обзором создаются «мертвые», не просматриваемые зоны.

Наиболее ответственные отливки подвергаются последующему поддетальному технологическому контролю с помощью методов и средств ультразвукового, рентгеновского, магнитного и других методов. После прохождения всех контрольно-измерительных операций осуществляется окончательный контроль отливок. При этом проверяется наличие клейм о предыдущих контрольных операциях и анализируется соответствие результатов контроля нормативным требованиям.

Совершенствующемуся и развивающемуся литейному производству необходима оперативная и надежная техника контроля, максимально приспособленная к цеховым условиям. Для массогабаритных отливок особую значимость приобретают мобильность и автономность автоматизированного контроля в реальном времени. Выполнение таких функций связано с созданием гибких волоконно-оптических и видеосистем дистанционного контроля.

### Литература

1. Марукович Е.И., Марков А.П., Горбунов Д.А. и др. Некоторые направления совершенствования технологического контроля в литейном производстве оптоволокон-

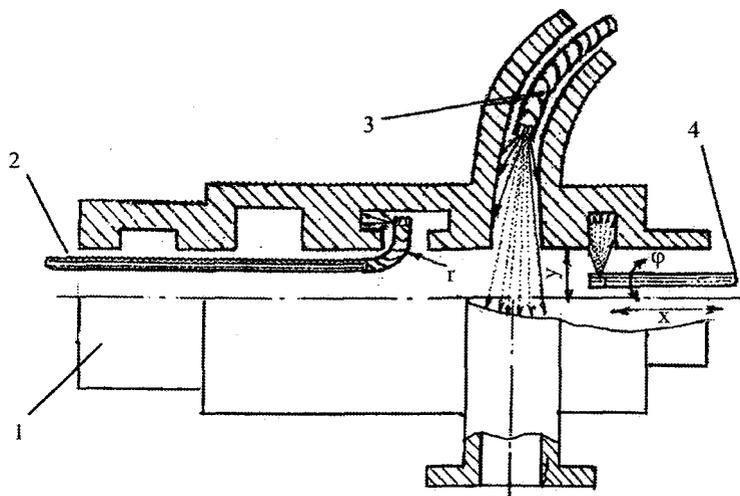


Рис. 6. Технология дефектоскопии внутриполостных поверхностей многоэлементной отливки: 1 — изделие литое; 2 — эндоскоп жесткий с управляемым боковым обзором; 3 — эндоскоп гибкий с прямым обзором; 4 — эндоскоп жесткий с боковым обзором

ными средствами // *Литье и металлургия*. 2006. № 2 (38). С. 107–111.

2. Марукович Е.И., Малявко Л.П., Марков А.П., Шварц Е.Г. Оптический контроль внутренних полостей литых изделий // *Литье и металлургия*. 2004. № 4 (32). С. 101–105.

3. Пелых С.Г., Вошенко А.И., Пономаренко О.И. и др. Системные факторы в формировании качества отливок // *Литье и металлургия*. 2004. № 4 (32). С. 92–94.

4. Баев А.Р., Коновалов Г.Е., Майоров А.Л. и др. Методы выявления несплошностей и контроль структуры чугунов с использованием объемных и головных волн // *Литье и металлургия*. 2004. № 4 (32). С. 95–100.

5. Коннов В.В., Марков А.П., Горбунов Д.А. и др. Комбинированные методы дистанционного контроля труднодоступных участков труб // *Литье и металлургия*. 2005. № 2 (34). С. 123–125.

6. Горбунов Д.А., Марков П.И., Малявко Л.П. Дистанционная дефектоскопия внутренних поверхностей труб // *Литье и металлургия*. 2005. № 2 (34). С. 126–128.

7. Гусев Е.А., Карпельсон А.Е., Потапов В.П. и др. Ультразвуковой и рентгеновский контроль отливок. М.: Машиностроение, 1990.

8. Соснин Ф.Р. Неразрушающий контроль: Справ. В 7-ми т. / Под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 1: В 2-х кн.: Кн. 1: Визуальный и измерительный контроль. М.: Машиностроение, 2003.

9. Лозовский В.Н., Бондал Г.В., Каксис А.О. и др. Диагностика авиационных деталей. М.: Машиностроение, 1988.

10. Автоматизация визуального технологического контроля в электронном машиностроении. М.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1987.

11. РД 34.10.130-96. Инструкция по визуальному и измерительному контролю. М.: Мингип России, 1996.

12. Галдин Н.М., Чернега Д.Ф., Иванчук Д.Ф. и др. Цветное литье: Справ. / Под общ. ред. Н.М. Галдина. М.: Машиностроение, 1990.

13. Марков П.И., Кеткович А.А., Саттаров Д.К. Волоконно-оптическая интроскопия. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1983.

14. Плетнев С.В., Потапов А.И., Марков А.П. Волоконно-оптические методы и средства дефектоскопии: Науч.-метод. справ. пособ. СПб.: ЛИТА, 2001.

15. Неразрушающий контроль: Справ. В 7-ми т. / Под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 6: В 3-х кн. Кн. 2: Оптический контроль. М.: Машиностроение, 1989.

16. Рождественский Ю.В., Вейнберг В.Б., Саттаров Д.К. Волоконная оптика в авиационной и ракетной технике. М.: Машиностроение, 1977.