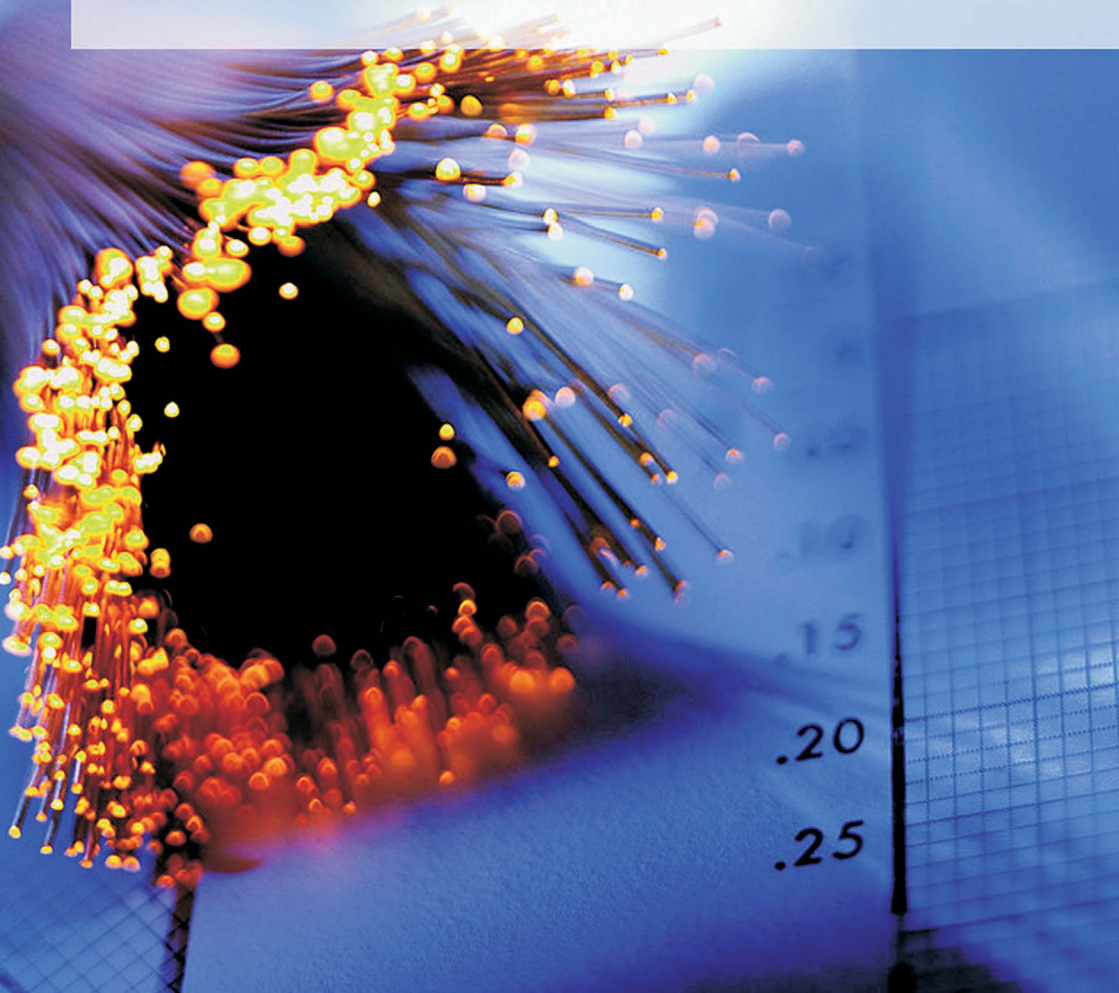




ОПТИКО-ВОЛОКОННОЕ СКОПИРОВАНИЕ В ЛИТЬЕ И МЕТАЛЛУРГИИ



НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ
Институт технологии металлов

Опτικο-волоконное скопирование в литье и металлургии

*Под общей редакцией академика
НАН Беларуси Е. И. Маруковича*



Минск
«Беларуская навука»
2010

УДК 681.7.068: 620.179-681.518.3

Опτικο-волоконное скопирование в литье и металлургии /
А. П. Марков и [др.] ; под общ. ред. Е. И. Маруковича. – Минск :
Беларус. навука, 2010. – 320 с. – ISBN 978-985-08-1133-2.

В монографии систематизированы способы оптического скопирования внутренних зон, нагретых поверхностей и расплавов, применение которых представляется целесообразным при совершенствовании литейного производства и металлургии. Собрана и обширно представлена элементная база волоконной оптики, электронной, оптоэлектронной и видеотехники, ориентированная на системное решение задач визуализации полей различной физической природы, характерных для литейного производства.

Рассмотрены операционные особенности информационно-преобразовательного процесса технологического контроля, структура опτικο-волоконного скопирования, модели, способы и технологии оптической термоскопии с учетом специфики информационно-физических преобразований и дистанцирования оптической информации. Особое внимание уделено спектрально-энергетическим преобразованиям первичной информации оптическими светопроводящими волокнами и структурам систем переноса и формирования оптических изображений на их основе.

Предназначена для инженеров, технологов и исследователей, занимающихся технологиями и разработкой новых конструкций и изделий. Может быть полезна работникам лабораторий и отделов технического контроля, служб качества и диагностики, а также студентам, магистрантам и аспирантам инженерных и технологических специальностей.

Табл. 23. Ил. 66. Библиогр.: 103 назв.

А в т о р ы:

А. П. Марков, Е. И. Марукович, В. В. Потапкин, А. Г. Старовойтов

Р е ц е н з е н т ы:

доктор технических наук, профессор Д. М. Кукуй,
доктор технических наук, профессор Ф. Г. Ловшенко

ISBN 978-985-08-1133-2

© Оформление. РУП «Издательский дом
«Беларуская навука», 2010

ОТ НАУЧНОГО РЕДАКТОРА

Предметом разработок являлись первичные информационно-физические преобразования изображений поверхностей. Материальные поверхности различаются формой и габаритами, микро- и макрорельефом, особенностями взаимовлияния с наблюдателем и окружающей средой, цветом и тепловым состоянием и другими отличиями. Но всех их объединяет одно – способность реагировать на воздействующее излучение и в самой реакции отражать свое реальное состояние и свойства. Именно от того, как в этой реакции проявляются количественные и качественные характеристики, зависит весь преобразовательный процесс, его эффективность, экономичность, достоверность, производительность и другие особенности.

В пространственно-временном взаимодействии различных воздействий и спектрально-энергетических излучений формируются источники первичной информации. И в этом формировании важнейшей составляющей является операция визуализации реального первичного изображения исследуемой зоны. При этом наблюдателю особенно необходимо воспринять некоторые отличия в свойствах материальной поверхности от заранее заданных, нормируемых структурой, технологией и конструкцией.

Технологический контроль как весьма трудоемкая и ответственная операция в любом производстве играет особую роль в литье и металлургии. Энергонасыщенность и материалоемкость этих производств при большом разнообразии изделий и технологий выдвигают задачи совершенствования технологического контроля на уровень важнейших стратегических. Ведь для приборостроения, транспорта, авиационно-космической техники и всех отраслей машиностроительного комплекса свыше половины изделий и комплектующих составляют отливки и прокат. И все это многообразие требует стопроцентного визуального осмотра и контроля.

Чтобы в большей мере адаптироваться к задачам и объектам, человечество совершенствует методы и средства визуального контроля

в направлении приближения изображения исследуемой зоны непосредственно к глазам наблюдателя. Радиоскопы и радары, телескопы и микроскопы, эндоскопы и интроскопы, УЗИ-системы и томографы и большое многообразие их разновидностей – все это предназначено лишь для одной важнейшей цели: увидеть невидимое и показать другим. Чтобы проникнуть в это невидимое и приблизить его, используются различные физические эффекты проявления зарождающихся аномальных отклонений.

В арсенале методов и средств неразрушающего контроля и дефектоскопии имеется традиционная разнообразная аппаратура для этих целей. Такая техника и технологии широко представлены в рекламной, научно-технической, справочной и научной литературе.

Авторами получены оригинальные результаты в оптико-волоконном копировании поверхностей в литье и металлургии. Отличительной особенностью предмета их исследований и разработок является копирование поверхностей оптическими способами с организацией и передачей лучистых потоков информативного излучения по светопроводящим оптическим средам. В таком названии и предмете изложения часть сложных слов «скопия» (от греч. *skopéd* – смотрю, наблюдаю, визуально воспринимаю) используется для определения сущности первичных преобразований оптического изображения поверхности.

При таком подходе оптико-волоконное копирование представляется как многооперационный процесс визуализации изображений поверхности оптическими излучениями видимой области спектра с отличительным признаком – оптическими волокнами, световодами.

При этом авторами не ставилась задача, чтобы все информационно-физические преобразования осуществлять посредством светопроводящих волокон. В самом названии «оптико-волоконное копирование» подчеркивается, что первичное восприятие (формирование) оптического изображения выполняется оптическими волокнами. Для дальнейших операционных (в том числе и параметрических) преобразований используется элементная база геометрической оптики, оптоэлектроники и схемотехники, информационно-преобразовательной и микропроцессорной техники. Например, пока по спектрально-энергетическим характеристикам лазерные и световодные излучатели уступают светодиодным и квантовым генераторам. Но уникальные свойства расщеплять, каналировать, пространственно направлять и управлять излучением позволяют создавать оригинальные гибкие и высокочувствительные (к спектру) излучатели.

В монографии вопросы системного объединения разнородных функциональных преобразований рассматриваются как подходы к более эффективному использованию преимуществ (с учетом ограничений) путем спектрально-энергетического анализа и синтеза всех составляющих единого информационно-физического процесса. При этом многокритериальные задачи оптимизации относятся только к структуре систем скопирования поверхностей.

В идеальном варианте первичная информация о состоянии и поведении производственного объекта должна быть представлена в виде, доступном для восприятия и «понимания» как машиной, так и человеком. Но даже в силу различия физической природы энергетических воздействий и информативных параметров для оперативного потребления первичная информация должна представляться в виде, удобном для восприятия, обработки и документирования.

В представленных моделях, структурах и конструкциях авторами обобщены результаты многолетней работы в этом направлении. Наряду с оригинальными техническими решениями приводятся данные о более совершенных способах и средствах других фирм и имеющейся элементной базе.

Изложенный в монографии материал позволит технологам, конструкторам и прибористам эффективнее решать задачи технологического контроля не только в литейном производстве и металлургии, но и в других отраслях со схожими задачами. Как в ключевых словах названия монографии, так и в ее разделах в большой мере уделено внимание структурно-алгоритмическим особенностям оптико-волоконного скопирования. При этом особо означены возможности оптико-волоконных методов и технологий в решении задач скопирования внутренних поверхностей расплавов и нагретых изделий с учетом специфики конструкций и условий литейного производства и металлургии.

Академик НАН Беларуси Е. И. Марукович

ПРЕДИСЛОВИЕ

В условиях усложняющихся технологий и изделий литейного производства и металлургии особое значение приобретает контролеспособность и аппаратура технологического контроля. Ресурс работы, эксплуатационная надежность и долговечность разнообразных конструкций в большой мере определяются качеством литья и обработки. Конструктивное несовершенство, неравнопрочность материалов и неоднородность их структуры, технологические отклонения литья и изготовления, нарушения режимов, условий и многофакторных влияний сказываются на научно-техническом прогрессе, особенно машино- и приборостроения, тяжелого и транспортного машиностроения, авиационно-космической промышленности, энергетики и трубопроводного транспорта и других отраслей, где изделия литья и металлургии составляют значительную часть комплектации и полуфабрикатов.

В свою очередь совершенствование технологий, оборудования, литья и металлургии неразрывно связано с опережающим развитием контрольно-измерительных средств. При этом аппаратное обеспечение контролеспособности максимально учитывает современный уровень развития методов и средств технологического, в том числе и неразрушающего, контроля как в самой отрасли, так и в более прогрессирующих смежных областях.

Особую проблему составляют совершенствование и обновление контрольно-диагностической техники для существующих производств с их уже отработанными технологиями и оборудованием. И здесь информационно-измерительная техника должна максимально адаптироваться к тому, что есть. Такой приспособительный характер обновления аппаратного обеспечения требует максимального учета специфики литейного производства и металлургии.

Поэтапный переход на более совершенные технологии литья и металлургии при модернизации и реконструкции позволяет оперативно решать задачи контролеспособности и аппаратного обеспечения по

отдельным элементам конструкции, стадиям или операциям, требующим высокопроизводительного и весьма ответственного технологического контроля. Нормированные режимы и условия предопределяют получение технически однородных структур и свойств материалов и изделий.

При конструировании и обработке технологий в условиях эксплуатации, периодических испытаний и профилактических осмотров (проверок) особое внимание уделяется анализу состояния и своевременному выявлению причин появления технологических отклонений. Такие отклонения приводят к различного рода неоднородностям, в дальнейшем проявляющимся в дефектах, повреждениях, отказах.

Установить имеющиеся разнообразные и многофакторные причинно-следственные связи, обуславливающие те или иные технологические неоднородности весьма сложно. Пооперационные исследования и статистический анализ в процессе разработки, доводки и испытаний новых материалов, технологий и новой техники создают предпосылки для диагноза и в некоторой мере могут прогнозировать экстремальные отклонения и технологические неоднородности. Статистические методы позволяют скорректировать конструкторско-технологическую документацию, но существенно не решают задач эксплуатационной надежности и связаны со значительными финансово-экономическими и временными затратами в этом весьма трудоемком и ответственном этапе освоения всего нового.

В совершенствовании аппаратных средств и технологий пооперационного контроля литейного производства объединяется весь комплекс информационно-технологических взаимосвязей и взаимозависимостей. При этом особое значение имеет пространственно-временная специфика отдельных элементов, операций и всего производства. Все многообразие номенклатуры, размеров, геометрических форм и их конструктивно-технологических особенностей схемно определено и нормировано. Но основными причинами разнообразных технологических отклонений эксплуатируемых изделий являются зоны концентрированного сосредоточения напряжений и сопряжений (переходов) элементов геометрии, в которых более интенсивно протекают деградиционные процессы (коррозия, пластические деформации, нарушения сплошности, экстремальный выход из допусков и т. д.).

Стратегической задачей единого комплекса информационно-физических преобразований в технологическом контроле является упреждение всевозможных аномальных отклонений при заданных критериях

качества, финансово-энергетических издержках и соответствующем материально-техническом обеспечении. Зарождающиеся невидимые технологические отклонения от нормированных параметров обуславливают характерные технологические неоднородности в однородных структурах, состояниях и свойствах. Именно зарождающиеся аномальные отклонения в дальнейшем проявляются в виде технологических неоднородностей, выступающих в качестве информационных сообщений. В их проявлении особую проблему составляют физические эффекты перехода от технологических неоднородностей к абстрактным источникам информации.

Возбуждение, проявление и преобразование первичной информации связано со специфическими явлениями и эффектами, которые проявляются в соответствующих средах. Использование поверхностных явлений и создание специальных сред, с помощью которых реализовывались бы информационные операции, позволяют повысить информативность преобразовательной техники.

В поверхностных явлениях проявляются особые свойства тонких слоев вещества на границе соприкосновения различных сред, фаз, тел. Поверхностные явления могут быть чисто физическими и проявляться в эффектах превращения и преобразования свойств при различных взаимодействиях. Всякое физическое взаимодействие с воздействующими излучениями прежде всего происходит в поверхностных слоях. Если на внешних поверхностях они отражаются в сцеплении (когезия), прилипанию (адгезия) и других проявлениях, то поверхностные явления на внутренних поверхностях связаны с неоднородностями кристаллической решетки. И любое разрушение материальной поверхности, связанное с преодолением прочности материала, представляет собой поверхностное явление, так как выражается в образовании новой поверхности.

Образование и развитие технологической неоднородности как зародыша новой фазы первоначально однородной поверхности нарушают метастабильное состояние материала (вещества), что сказывается на качестве и долговечности изделий и конструкций.

Визуализация аномальных отклонений и их проявлений в технологических неоднородностях предполагает оперативное скопирование, особенно участков (зон), критичных и не видимых для наблюдателя. Способами копирования визуализируется реальное состояние воспринимаемого среза в контролируемых пространственно-временных координатах. По существу, технологии и техника визуализации предпола-

гают отображение численных характеристик технологических неоднородностей. При этом свойства технологических неоднородностей отображаются в изображениях, приспособляемых для непосредственного визуального восприятия. И всякая визуализация методами и средствами информационно-преобразовательной техники строится на спектрально-энергетическом взаимодействии излучений с технологическими неоднородностями.

Ограниченная коммуникабельность традиционных электромагнитных, акустических, радиационных, электрических, капиллярных, оптических и других методов, применяемых обособленно, обеспечивает приоритетное положение в их комбинированном скопировании. Относительная проявляемость одних и высокая «проходимость» волоконно-оптических структур позволяют использовать методы и технологии визуализации в ранее недоступных зонах и сферах человеческой деятельности.

В отличие от имеющихся работ, где преимущественно отражаются экспериментально-теоретические и технологические аспекты неразрушающих методов волоконно-оптических и оптико-оволоконных средств, авторами особое внимание уделяется схемотехническим и структурно-информационным преимуществам комбинированных методов и технологиям визуализации неоднородностей. Ряд оригинальных способов и устройств представлен реальными промышленными моделями и образцами, нашедшими практическое применение в различных разработках, при исследованиях и испытаниях новых технических систем, конструкций и технологий.

В волоконно-акустической визуализации, дефектоскопии, фото- и спектрометрии наиболее полно используются преимущества акустических методов и оптических светоизолированных моноволокон для выполнения различных операций с технологической и особенно измерительной информацией, представленной в оптических изображениях. В работе преимущественно рассматриваются методы и средства формирования и преобразования первичной информации о состоянии и свойствах изображений технологических отклонений и неоднородностей.

Высокое быстродействие, помехозащищенность и селективность волоконно-оптических каналов обеспечивают перспективу практической реализуемости и конкурентоспособности информационно-измерительных средств восприятия, преобразования и передачи изображений о пространственно-временном расположении и характеристиках изменяющихся неоднородностей. Представленные методы, структуры и схемы ориентированы на адаптированное применение в специфиче-

ских условиях литейного производства и могут дополняться компенсационными, корректирующими и стабилизационными элементами и связями.

Накопленный научно-технический и производственно-технологический опыт, современная аппаратура и элементная база создают предпосылки для системного объединения физико-технических и информационно-физических элементов и структур в едином процессе визуализации технологических неоднородностей, что составляет предмет предлагаемой работы.

Авторы выражают признательность рецензентам за конструктивные замечания по структуре, компоновке и изложению материала.

В исследованиях, разработках, испытаниях и подготовке материалов принимали участие Д. В. Глушаков (параграфы 2.5, 2.7), Н. М. Рыбаков (параграф 4.4), Ю. Л. Станюленис (параграф 3.5), И. М. Строчки (параграфы 2.3, 3.3, 3.4).

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОПТОСКОПИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Современный научно-технический прогресс определяется эффективным использованием материально-энергетических ресурсов, потребностью производственно-хозяйственной деятельности людей и потребительским спросом на новые технологии и качественную продукцию. Применимость разнообразных способов и средств технологического контроля при модернизации, усовершенствовании и создании новых материалов, изделий и технологий обусловлена их эффективной реализуемостью и ограничивается финансово-экономическими затратами на единицу выпускаемой продукции.

Технологические отклонения и их пространственно-временное случайное распределение во многом связаны с соответствующими сообщениями о зарождающихся неоднородностях и их расположении. Скопирование информативных излучений позволяет визуализировать такие неоднородности и представить потребителю в удобной для зрительного восприятия форме.

В различных способах оптико-волоконного копирования технологических неоднородностей литейного производства оперативная связь технологических и информационных операций устанавливается через первичную информацию. В ней проявляются характерные особенности возникающих неоднородностей и все структурно-алгоритмические реализации информационных преобразований связаны с информативными излучениями. В таком системном объединении разнородных преобразований проявляются специфические особенности технологического контроля как важнейшей составляющей всего литейного производства.

1.1. Информационно-преобразовательные особенности технологического контроля

Литейное производство как совокупность последовательно выполняемых действий, с одной стороны, связано с многообразием многофакторных зависимостей материально-энергетических взаимодействий, физико-технических свойств и информационно-энергетических характеристик объектов управления. В качестве объектов управления выступают отдельные операции, узлы и блоки, установки и оборудование, в системном объединении образующие единый производственный процесс. С другой стороны, литейное производство как производственно-технологический процесс представляет собой многопараметровую структуру с многоуровневым распределением физико-технических воздействий на различных этапах литья и формообразования.

Структура и кристаллическое строение металлов и сплавов определяют их физико-механические свойства. Если в аморфных структурах отсутствует трехмерная периодичность, то в кристаллических структурах присутствует определенный трехмерный порядок в атомно-кристаллическом строении вещества. Важнейшей особенностью структурообразования металлов является пространственная неоднородность их механических свойств, характеризующаяся анизотропией (зависимость свойств от направления).

Путем термоэнергетических воздействий получают металлы с изотропной структурой, а при физико-механическом воздействии (например, прокате) получают изделия с различными вдоль и поперек свойствами.

В структуре технологических воздействий и взаимодействий при дозировании, приготовлении жидкого металла, формовочных и стержневых смесей, теплофизической обработке и выполнении других разнообразных операций наряду с прямыми и обратными связями управления процессами литья существенную роль играют пространственно-временные взаимосвязи между случайными технологическими отклонениями и качеством производимых отливок.

В формировании физико-механических свойств отливок и слитков определяющее влияние оказывает теплофизическое воздей-

ствии с его нормированными энергoвременными параметрами. И здесь особое значение приобретает температурный режим нагрева, выдержки и охлаждения заготовок. Неоднородность структуры и свойств, появление внутренних напряжений в основном обусловлены отклонениями температурно-временного режима. Если время нагрева зависит от способа нагрева, физических свойств нагреваемого металла и его химического состава, то время выдержки при нормированной температуре нагрева определяется длительностью теплофизических процессов структурных превращений по всему объему изделия.

Технологические отклонения в виде ненормального хода нагрева, нагрев до слишком высоких или слишком низких температур, чрезмерной продолжительности нагрев из-за неподходящей атмосферы и неправильного режима охлаждения вызывают образование трещин, крупнозернистых структур, а также пере-нагрев и пережог, обезуглероживание и окалинообразование.

Стратегической задачей единого комплекса литья является не только обеспечение выпуска годных изделий в установленные сроки в заданных объемах и заданной номенклатуре, но и упреждение их качества при заданных финансово-энергетических параметрах и нормативном материально-техническом обеспечении. Совершенствование техники и технологий, усложнение конструкций и снижение массогабаритных параметров, разнообразие сырья и материалов усложняют задачи моделирования, структурно-алгоритмического анализа и синтеза всех стадий литейного производства. В такой специфике производственного процесса определяющее значение имеет управление формированием параметров качества литых изделий.

И здесь особую значимость приобретают системные факторы управления качеством и выявления их корреляционных зависимостей с качеством отливок и форм на всех этапах производственного процесса.

Для конструктивной контролеспособности объекта предусматриваются некоторые специальные элементы (смотровые окна, смотровые лючки, габаритные, экстремальные указатели и т. д.) или технологическая оснастка. Такие конструктивные дополне-

ния способствуют более рациональной адаптации аппаратных средств к реальным изделиям и условиям эксплуатации.

Аппаратное обеспечение при создании новой техники и оборудования максимально учитывает современный уровень развития как в самой отрасли, так и в смежных областях. Но для существующих производств совершенствование контрольно-измерительной техники носит приспособительный характер. Механический перенос достижений из других отраслей не обеспечивает требуемой технико-экономической эффективности технологического контроля литейного производства.

В совершенствовании отдельных стадий и всего производства наряду с менее затратными процессами параметровой и пооперационной коррекции, стабилизации, регулирования и управления реализуются и более затратные автоматизированные и информационно-измерительные системы и комплексы пооперационного контроля. Применимость комплексной автоматизации регламентируется технико-экономической эффективностью и рядом других показателей производства и в основном определяется при проектировании и создании новых участков, цехов и автоматизированных линий.

Модернизация и реконструкция ряда производств с поэтапным переходом на более совершенные технологии и оборудование представляет особую проблему адаптации аппаратного обеспечения в многопараметровом и многоуровневом случайном распределении текущих состояний и свойств. Более общим случаем является реальная параметрическая оценка энерготехнического воздействия на каждой стадии информационно-физических преобразований.

Для реального производственного процесса выполнение тех или иных операций в большинстве случаев не сопровождается созданием некоторых специфических полей. В таком пассивном режиме функционирования технологическая проявляемость случайных отклонений от установленных норм ограничивает информационную выявляемость их именно в момент возникновения этих отклонений. Низкий информативный уровень или вообще отсутствие информации из-за слабых физических полей и слу-

чайное пространственно-временное распределение источников первичной информации создают дополнительные сложности по локализованному возбуждению и селективной ориентации источников и приемников отраженной неоднородностью энергии. Целенаправленная пространственно-распределенная энергия и локализация информативных источников повышают эффективность информационно-физических воздействий и преобразований для всей совокупности технологических и информационных операций.

В многофакторной взаимозависимости и взаимообусловленности между структурной организацией энергофизических и информационно-технологических преобразований проявляется все многообразие задач совершенствования существующего литейного производства. При этом стратегия и тактика управления строятся на определенной пространственно-временной зависимости стадий производственного процесса и сопровождающих их информационных операций, а именно:

- формирование цели, задачи и критерия;
- систематизация требований и условий;
- формализация, выбор структуры, схем и параметров;
- анализ вариантов в соответствии с предъявляемыми требованиями и физической реализуемостью;
- выбор оптимального алгоритма с учетом принятого критерия.

В авто-, трактор-, станкостроение и других отраслях машиностроительного комплекса свыше половины комплектации составляют изделия литейного производства с различными массогабаритными и конструктивными особенностями. Безаварийная эксплуатация машин и механизмов, деталей и узлов, инженерно-технических комплексов, объектов транспорта, энергетики, авиационной и космической промышленности и других отраслей деятельности людей связана с конструкторско-технологическими мероприятиями по обеспечению качества и надежности. В единых программах обеспечения качества и надежности особое внимание уделяется анализу и своевременному выявлению источников и причин, обуславливающих появление дефектов и отказов [2, 17, 18].

Установить существующие разнообразные и многофакторные причинно-следственные связи в процессе создания и испытаний

нового изделия весьма сложно и проблематично. В то же время ряд причин, не поддающихся прогнозированию в условиях эксплуатации, приводит к различным критическим и аварийным ситуациям, гибели людей и значительным потерям материально-технических средств. Статистические методы создают возможность корректировки конструкторско-технологической документации, но существенно увеличивают сроки испытаний, опытной эксплуатации и серийного освоения новых изделий, материалов и технологий.

С усложнением изделий ужесточаются требования к их массогабаритным параметрам и энерготехнологическим режимам. И все большее значение приобретают конструктивная, методическая и аппаратная контролеспособность литейного производства. С усложнением конструкций возрастают функциональная значимость отдельных элементов, блоков и технологической оснастки, а также расходы на ликвидацию последствий эксплуатационных отказов и дефектов. В этом отношении прогнозирование и раннее выявление технологических отклонений существенно повышают эксплуатационную эффективность и надежность особенно сложного и ответственного литья.

Вследствие технологических отклонений тепловых процессов ухудшаются физико-механические свойства металлов и металлоизделий. При этом ухудшаются прочность, пластичность, плотность, магнитная проницаемость, электропроводность металлов, что вызывает производственно-технологические и эксплуатационные дефекты. Производственные дефекты связаны с отклонениями от нормированных значений при отливке и прокатке. Технологические дефекты возникают при изготовлении и ремонте изделий, в то время как эксплуатационные проявляются после некоторой наработки изделий вследствие усталости металла, коррозии, изнашивания, а также при нарушении условий обслуживания и эксплуатации.

При случайном характере дефектообразования дефекты могут быть одиночными, сосредоточенными (местными), распределенными в ограниченных зонах и по всему изделию, внутренними и наружными. Общепринято идентифицировать макродефек-

ты по их морфологическим и генетическим признакам. Среди них определяющими являются [11, 94]:

расположение и распределение по геометрическому параметру изделия (длине или периметру) или ориентация по отношению к его оси;

изменение поперечных размеров изделия в месте сосредоточения дефектов с единичным или групповым расположением;

периодичность повторения и характеристики геометрических параметров дефектной зоны и дефекта;

наличие неметаллических включений, окалины и смазки в дефектной зоне и полости дефекта;

наличие структурной и ликвационной неоднородности;

отклонения механические, термические, коррозионные;

изменение микроструктуры в дефектной зоне и др.

В контролепригодности отливок и проката определяющее значение имеет пооперационный контроль технологического процесса, обеспечивающий изготовление надежных и качественных изделий.

На разных стадиях производства всякое физико-техническое воздействие на объект адекватно отражается в сопутствующем ему информационном процессе.

Технологический контроль объекта с труднодоступными источниками первичной информации предполагает в общем случае формирование характерных признаков аномального отклонения (аномалии) с последующим отображением в виде абстрактного образа, доступного для непосредственного восприятия оператором. Физические особенности материального объекта в некоторой мере отображаются и с информационной стороны. При воздействии излучения возникающая у объекта информация проявляется в физических эффектах формирования некоторого контраста в пространственно-однородной среде. То есть всякой аномалии в физико-технической структуре на первичном уровне соответствует контраст в информационном поле.

С одной стороны, разнородные физические величины (рис. 1.1) с их всевозможными аномальными отклонениями встраиваются в единую информационную систему от объекта до его образа.

СОДЕРЖАНИЕ

От научного редактора	3
Предисловие	6
Глава 1. Методы и средства оптокопии технологических процессов	11
1.1. Информационно-преобразовательные особенности технологического контроля	12
1.2. Структура оптико-электронного скопирования	28
1.3. Элементная база оптико-электронного скопирования	35
Глава 2. Способы и структуры оптического скопирования внутренних поверхностей	67
2.1. Информационно-физические основы скопирования поверхностей	67
2.2. Модели и схемы переноса и формирования информации оптическими волокнами	78
2.3. Способы и схемы формирования направленного спектрально-энергетического излучения	87
2.4. Информационно-оптические функции световодных элементов в системах скопирования	95
2.5. Методы и средства оптико-электронного скопирования внутренних поверхностей	106
2.6. Особенности структурной оптимизации оптико-электронного скопирования внутренних поверхностей	112
2.7. Физические и технологические особенности световодного скопирования	119
Глава 3. Способы и технологии оптико-волоконной термоскопии	137
3.1. Способы и структура оптической термоскопии	137
3.2. Спектрально-энергетическая термоскопия	143
3.3. Структура, способы и схемы информационно-физических преобразований в термоскопии	152
3.4. Моделирование спектрально-энергетических преобразований в тепловом контроле	162
3.5. Особенности скопирования непрерывного литья и отливок	178

Глава 4. Автоматизированное скопирование в пространственных координатах	204
4.1. Пространственное скопирование внутренних полостей	204
4.2. Механические и комбинированные способы скопирования в линейных координатах	216
4.3. Скопирование поверхностей ориентированными излучениями	226
4.4. Техника и технологии автоматизированного скопирования поверхностей	235
4.5. Промышленная техника и технологии оптического скопирования	270
Заключение	307
Литература	312

Научное издание

Марков Алексей Петрович
Марукович Евгений Игнатьевич
Потапкин Вадим Вадимович
Старовойтов Анатолий Григорьевич

**ОПТИКО-ВОЛОКОННОЕ СКОПИРОВАНИЕ
В ЛИТЬЕ И МЕТАЛЛУРГИИ**

Редактор *Г. В. Малахова*
Художественный редактор *А. М. Гасова*
Технический редактор *М. В. Савицкая*
Компьютерная верстка *С. Н. Костюк*

Подписано в печать 22.02.2010. Формат 60 × 84^{1/16}. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 18,6. Уч.-изд. л. 16,2. Тираж 120 экз. Заказ 80.

Республиканское унитарное предприятие «Издательский дом «Беларуская навука»». ЛИ № 02330/0494405 от 27.03.2009. Ул. Ф. Скорины, 40, 220141, г. Минск.

Отпечатано в РУП «Издательский дом «Беларуская навука»