

**ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО  
УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ КРУГЛОЙ И  
КВАДРАТНОЙ ЗАГОТОВКИ**



**СЕРИЯ «ВОЛНА»**



## УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ КРУГЛОЙ И КВАДРАТНОЙ ЗАГОТОВКИ

Ультразвуковой контроль (УЗК) круглого сортового проката и квадратной заготовки является чрезвычайно актуальной задачей, стоящей перед металлургической индустрией. Специфика объекта контроля – массовость, сложная геометрия формы, высокая ответственность назначения, жесткость требований, предъявляемых современными стандартами – практически полностью исключает возможность проведения ультразвуковой дефектоскопии вручную.

Металлургическое предприятие, осуществляющее производство сортового проката и претендующее на звание производителя качественной продукции, не может обойтись сегодня без линий автоматического ультразвукового контроля.

Однако простое наличие дефектоскопического оборудования не гарантирует отсутствие несплошностей и связанные с этим высокие потребительские свойства металлургической продукции.

По параметрам локализации типичные дефекты круглого сортового проката и квадратной заготовки могут быть условно разделены на три группы:

- поверхностные (непосредственно выходящие на поверхность);
- подповерхностные (расположенные непосредственно под поверхностью металла);
- внутренние несплошности (удаленные от поверхности заготовки как минимум на 2 – 5 мм).

Обнаружение несплошностей третьей группы является достаточно сложной, но ставшей уже классической задачей ультразвуковых методов контроля. Кроме Компании «Нордінкрафт», в мире существует еще несколько фирм, предлагающих оборудование для автоматизированного ультразвукового контроля круглой или квадратной заготовки на предмет обнаружения внутренних дефектов. При этом большинство производителей оборудования УЗК базируются на применении пьезоэлектрических преобразователей, когда ввод и прием ультразвука осуществляется через слой контактной жидкости.

Что касается дефектов первой и второй групп, то их обнаружение в условиях поточного производства с применением пьезоэлектрических преобразователей представляет собой практически неразрешимую задачу.

Дело в том, что любая контактная жидкость, «нагружая» поверхность заготовки, неизбежно оказывает влияние на параметры и характер распределения акустических полей. Это обстоятельство, как правило, приводит к неизбежной «перебраковке».

Особенно сильное влияние контактной жидкости проявляется при попытке использования наклонного (по отношению к нормали к поверхности заготовки) ввода упругих колебаний. Применение пьезоэлектрических преобразователей (из-за паразитного влияния контактной жидкости) делает фактически невозможным в промышленных условиях использование так называемых Рэлеевских волн. И это весьма неприятно, поскольку именно этот тип волн наиболее чувствителен к поверхностным несплошностям.

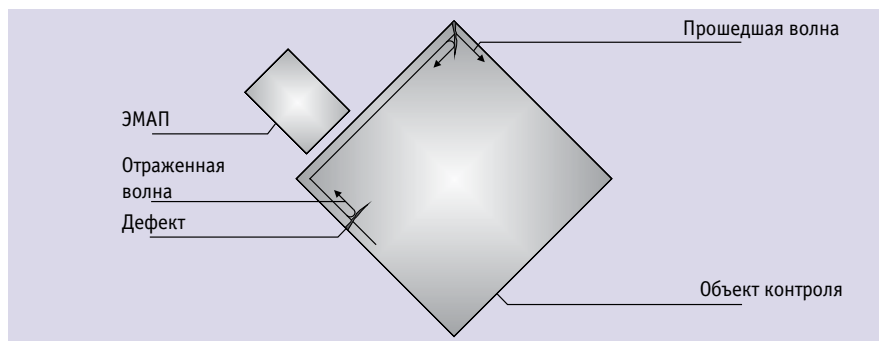
Кроме того, рабочая жидкость способна изменять физические свойства поверхностных несплошностей, делая их «невидимыми» для ультразвука.

Применение электромагнитно-акустических преобразователей (ЭМАП) позволяет избежать неудобств, связанных с наличием контактной жидкости, и избавиться от ее вредного влияния при выявлении дефектов первой и второй групп (поверхностных и подповерхностных).

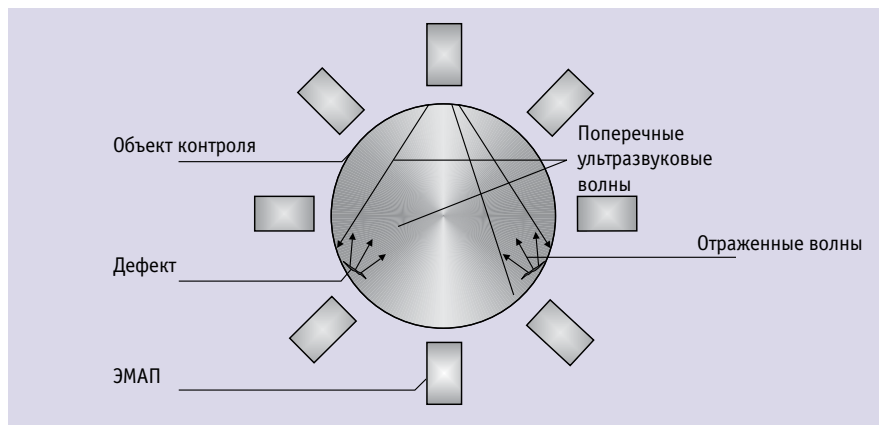
### ТЕХНОЛОГИИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ ЗАГОТОВОК, ПРИМЕНЯЕМЫЕ И РАЗВИВАЕМЫЕ КОМПАНИЕЙ «НОРДИНКРАФТ»

Наиболее распространенные схемы обнаружения поверхностных и подповерхностных несплошностей предполагают использование волн Рэля и объемных волн, возбуждаемых наклонно к поверхности. Естественно, что эффективная реализация этих схем в условиях промышленного высокопроизводительного УЗК возможна только с применением бесконтактных методов возбуждения и приема ультразвуковых волн.

Поэтому в качестве излучателей и приемников упругих колебаний на приведенных ниже рисунках фигурируют ЭМАП.



Фиг. 1. Схема обнаружения поверхностных и подповерхностных дефектов с использованием Рэлеевских волн.



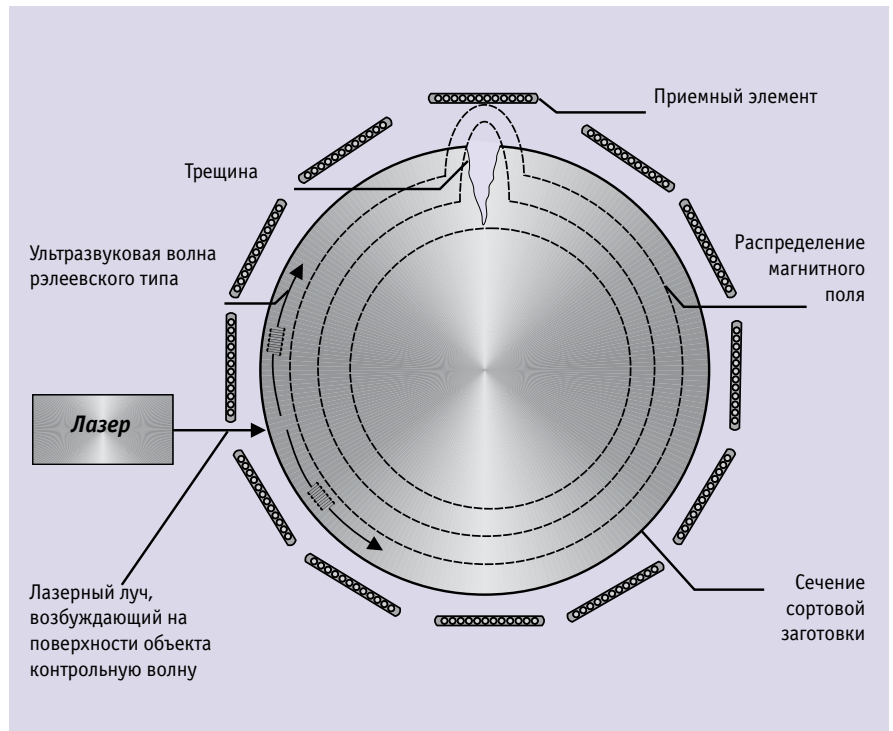
Фиг. 2. Схема обнаружения поверхностных и подповерхностных дефектов с использованием объемных волн.



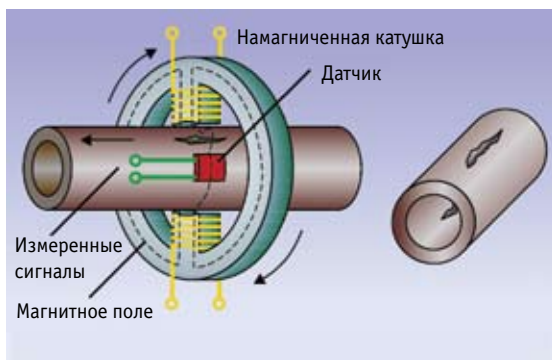
Кроме ЭМАП, возможно применение других устройств, обеспечивающих условие «бесконтактности» возбуждения и (или) приема ультразвука. Примером таких устройств является пара «Лазер – ЭМАП». Лазер, при этом, чрезвычайно эффективен в режиме возбуждения упругих колебаний. ЭМАП обеспечивает, как правило, эффективный бесконтактный прием.

Комбинирование методов неразрушающего контроля позволяет получить качественно новый результат. Примером тому является комбинация ультразвукового и магнитного методов при обнаружении поверхностных и подповерхностных дефектов сортового проката (см. Фиг. 3).

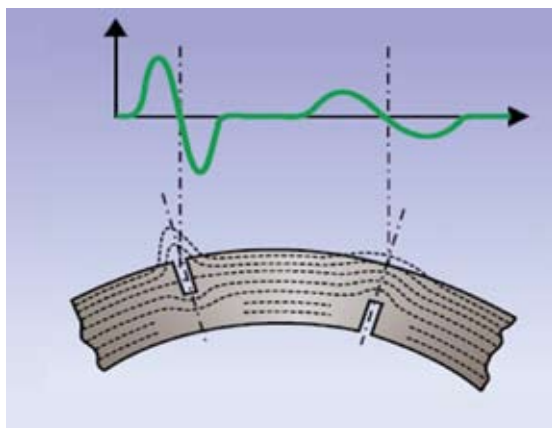
Стационарное магнитное поле, создаваемое кольцом из постоянных магнитов, «опаивает» сечение заготовки. Кольцо приемных катушек расположено в непосредственной близости – в зоне максимальной концентрации магнитных силовых линий. Возбуждаемая лазером рэлеевская волна, распространяясь в поверхностном слое объекта контроля, вызывает вторичное электромагнитное возмущение на границах несплошностей.



Фиг. 3. Принцип обнаружения поверхностных дефектов путем регистрации магнитных полей рассеяния, обусловленных взаимодействием волны Рэлея с дефектом.



Фиг. 4, а. Принцип обнаружения трещин магнитным методом.



Фиг. 4, б. Искажение магнитного поля в зоне несплошностей.

При наличии дефекта соответствующая катушка принимает мощный импульс, амплитуда и спектр которого позволяют судить о размерах и глубине залегания неоднородности.

Для сравнения (см. Фиг. 4) мы приводим известную схему обнаружения трещин на поверхности круглого проката и труб с помощью устройства, реализующего магнитный метод неразрушающего контроля. Такие устройства под названием «Defectomat», выпускаются немецкой фирмой Institut Dr. FOERSTER.

Магнитное возмущение создается с помощью пары вращающихся электромагнитов. В зоне максимальной концентрации магнитных полей расположены приемные катушки. Таким образом, перенос магнитного возмущения осуществляется с помощью механического перемещения (вращения) магнитных головок. Легко посчитать, что скорость этого переноса, как минимум, на два порядка (в сто раз!!!) меньше, чем при использовании рэлеевской волны. Это особенно важно при осуществлении контроля быстро движущихся заготовок. Кроме того, высокая скорость источника информации позволяет получать многократные подтверждения факта обнаружения несплошности на коротких дефектах и при высоких скоростях объекта контроля. Это существенно повышает помехозащищенность контроля, достоверность его результатов.

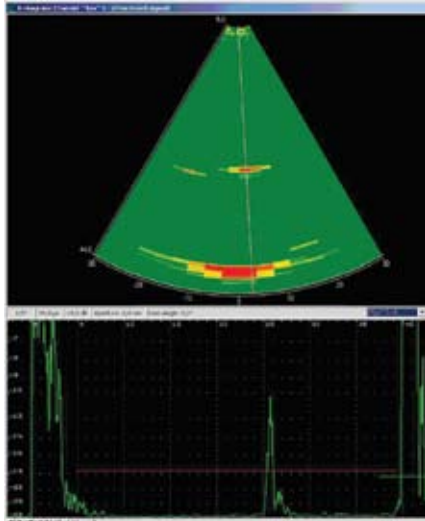
Чувствительность комбинированного и магнитного способов приблизительно одинакова.

Достоинством устройства, реализующего комбинированный способ обнаружения поверхностных несплошностей, является простота и отсутствие механически вращающихся деталей. Это повышает надежность и существенно расширяет область применения устройства: его можно использовать с равной эффективностью как для круглой, так и для квадратной заготовки. Как, впрочем, и для заготовок с произвольной формой сечения.

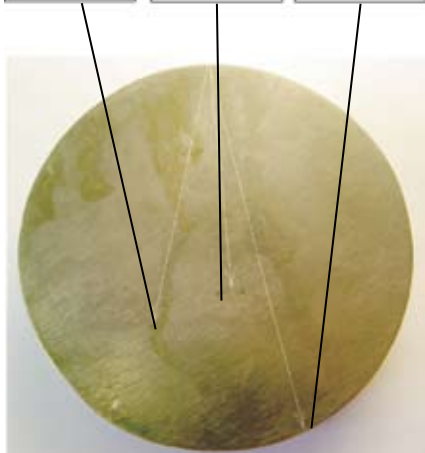




Фиг. 5. Шестнадцатиеlementный раздельно-совмещенный преобразователь – пьезоэлектрическая фазированная решетка (ПФР).



Фиг. 6. Изображение дефектов и осциллограмма сигналов ПФР при секторном сканировании сечения заготовки.



Фиг. 7. Заготовка  $\varnothing 115$  мм. Неметаллические включения.

Компания «Нординkraft» непрерывно совершенствует и развивает «старые добрые технологии», основанные на применении пьезоэлектрических преобразователей. При этом мы стараемся снизить, насколько это возможно, неудобства, связанные с необходимостью применения контактной жидкости.

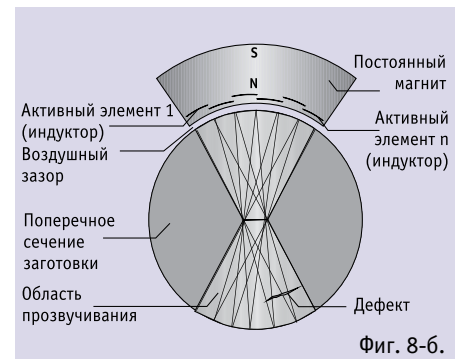
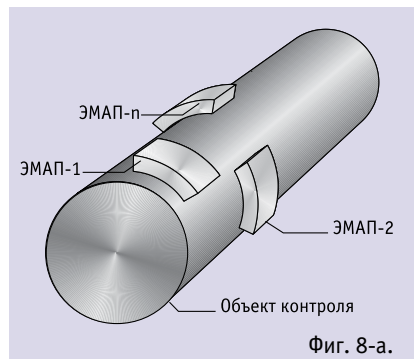
Успешное развитие технологии пьезоэлектрических фазированных решеток позволило нам существенно упростить конфигурацию и конструкцию измерительного модуля, уменьшить количество блоков ультразвуковых преобразователей.

Это стало возможным за счет создания огромного количества дополнительных, «виртуальных» каналов, усложнения и увеличения объема дефектоскопической электроники, разработки нового, совершенного программного обеспечения.

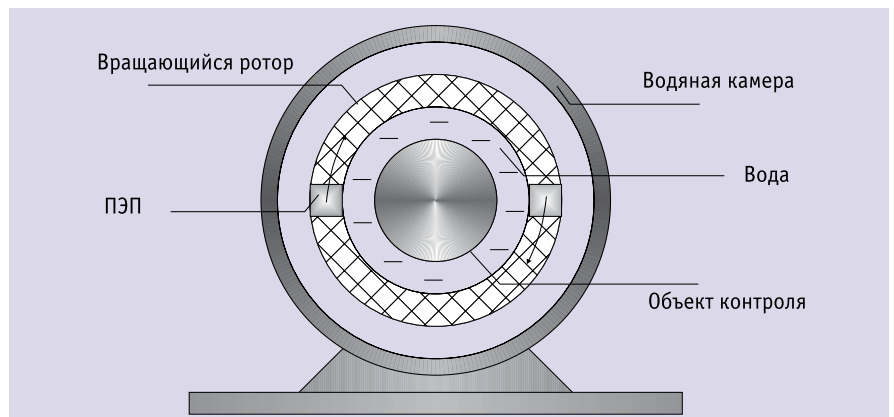
Преобразователь, выполненный по технологии пьезоэлектрических фазированных решеток, развертка, полученная на прутке с реальными дефектами, а также фотография дефектного сечения приведены на Фиг. 5, 6, 7.

Мы разработали и реализовали на практике альтернативное – бесконтактное, решение задачи сплошного контроля заготовок круглого и квадратного сечений. Решение подразумевает применение группового ЭМАП, обеспечивающего создание виртуально вращающегося ультразвукового поля. Принцип виртуального вращения ультразвукового поля схема расположения блоков ЭМАП относительно заготовки представлены на Фиг. 8.

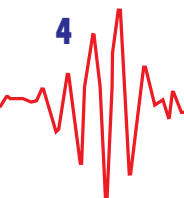
Для сравнения приводим широко используемую различными фирмами конфигурацию, предусматривающую наличие локально-иммерсионной ванны с механически вращающимися пьезоэлектрическими преобразователями (см. Фиг. 9). При одинаковом результате система Компании «Нординkraft» значительно проще в эксплуатации, не требует применения контактной жидкости, не нуждается в какой-либо настройке в широком диапазоне диаметров контролируемых заготовок.



Фиг. 8. Устройство с применением группового ЭМАП: Фиг. 8-а. Схема расположения блоков ЭМАП. Фиг. 8-б. Принцип виртуального вращения ультразвукового поля.



Фиг. 9. Устройство с локально-иммерсионной ванной и механически вращающимися пьезоэлектрическими преобразователями.



## УСТАНОВКИ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ КРУГЛОЙ И КВАДРАТНОЙ ЗАГОТОВКИ «ВОЛНА»

Установки серии «Волна» представляют собой современные, высокотехнологичные, полностью автоматизированные измерительные комплексы, обеспечивающие сплошной ультразвуковой контроль поверхности и внутреннего сечения сортового проката круглого и (или) квадратного сечения.

Контроль осуществляется в соответствии с действующими Российскими и международными стандартами и нормами, такими как: ГОСТ 21120-75, ГОСТ 4543-71, ГОСТ 1050-88, SEP 1920, SEP 1921, EN 10228-3, EN 10084, BS 970, ASTM A350 и др.

В состав типовой установки «Волна» для контроля круглой заготовки входят два независимых измерительных модуля: модуль контроля поверхности проката и модуль контроля внутреннего сечения. При необходимости контроля еще и квадратной заготовки используется, соответственно, четыре модуля. Переход с одного вида объекта контроля на другой может осуществляться автоматически, за считанные минуты.

Для обнаружения поверхностных дефектов используются, как правило, ультразвуковые волны Рэлея. Их возбуждение и прием осуществляются с помощью бесконтактных электромагнитно-акустических преобразователей. Из всех известных типов ультразвуковых преобразователей только ЭМАП обеспечивает возбуждение и прием «идеальных» (с точки зрения характеристик акустического поля) поверхностных волн. Этим во многом и объясняется высокая эффективность обнаружения поверхностных и подповерхностных несплошностей.

Кроме волн Рэлея, для обнаружения поверхностных и подповерхностных несплошностей можно использовать и объемные волны. Конфигурация такой системы предполагает использование формул «Лазер – ЭМАП» или «ЭМАП – ЭМАП».

Для обнаружения внутренних несплошностей могут быть использованы как ЭМАП, возбуждающие и принимающие поперечные ультразвуковые

волны («сухой» вариант), так и пьезоэлектрические фазированные решетки, излучающие и принимающие объемные волны («мокрый» вариант).

Замечательное свойство фазированных решеток – возможность программно, с высокой скоростью управлять углами ввода и приема ультразвуковых волн – позволяет наилучшим образом решить задачу сплошного ультразвукового контроля сортовой заготовки.

С другой стороны, применение ЭМАП позволяет отказаться от использования воды и вести контроль сортового проката при отрицательных или высоких температурах (до +650°C и более). Выбор типа преобразователей зависит от пожеланий заказчика и производственных условий.

Все установки УЗК серии «Волна» сертифицированы Госстандартом России, а так же соответствующими государственными ведомствами Украины и Белоруссии.

## ТИПОВОЙ СОСТАВ ОБОРУДОВАНИЯ УСТАНОВКИ СЕРИИ «ВОЛНА»

В состав оборудования установки ультразвукового контроля серии «Волна» мы обычно включаем следующие элементы:

- измерительный модуль с комплектом блоков ЭМАП системы контроля поверхности проката (СКП);
- измерительный модуль с комплектом блоков ПФР или ЭМАП системы контроля внутреннего сечения проката (СКВ);
- оборудование дефектоскопической электроники СКП;
- оборудование дефектоскопической электроники СКВ;
- управляющий вычислительный комплекс (УВК);
- оборудование автоматики и электропитания;
- тянущие и прижимные устройства;
- краскоотметчики;
- оборудование пневмо – и электроприводов.

Управляющий вычислительный комплекс осуществляет управление информационными потоками, организует процесс контроля, сбор, обработку, представление и хранение

его результатов. УВК обеспечивает контроль сортового проката в соответствии с нормами российских и зарубежных стандартов. Эти нормы устанавливаются оператором из пополняемого списка, содержащего названия стандартов или норм.

По желанию заказчика в состав установки может быть включено необходимое дополнительное механическое оборудование:

- загрузочные стеллажи;
- перегружатели;
- входной рольганг;
- выходной рольганг;
- сортировочное устройство;
- карманы для проконтролированной продукции.

Оборудование установки УЗК «Волна» может быть легко встроено в технологический поток существующей производственной линии или смонтировано на отдельном участке контроля.





## ГЕОГРАФИЯ «ВОЛНЫ»

За прошедшее десятилетие коллектив Компании «Норд-кرافт» изготовил и внедрил в промышленную эксплуатацию девять установок серии «Волна» для автоматического ультразвукового контроля сортового проката и квадратных заготовок.

Восемь из них действуют на металлургических предприятиях России, Белоруссии, Украины: ОАО «Северсталь», ОАО «Оскольский электрометаллургический комбинат», ОАО «Мечел», ММЗ «Истил (Украина)», РУП «Белорусский металлургический завод».

Одна установка «Волна-7» (международное название «CIRCOSON F R-100»), созданная совместно с фирмой Institut Dr. FOERSTER, успешно работает в Швеции, на предприятии концерна «Ovako Steel».

Еще один – демонстрационный модуль установки «Волна», работает в Германии, в городе Ройтлингене (Reutlingen).



Фиг. 12. Установка «Волна-7» – СПЦ, ОАО «Северсталь», г. Череповец (Россия).



Фиг. 10. Установка автоматического УЗК круглого сортового проката и квадратной заготовки «Волна-7» – СПЦ, РУП «Белорусский металлургический завод», г. Жлобин (Белоруссия).



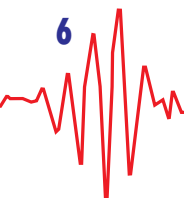
Фиг. 13. Установка «Волна-6» в сборочном цехе фирмы Institut Dr. FOERSTER (Германия).



Фиг. 11. Установка «Волна-7» – СПЦ, ОАО «Мечел», г. Челябинск (Россия).



Фиг. 14. Установка «Волна-6» – ММЗ «Истил-Украина», г. Донецк (Украина).



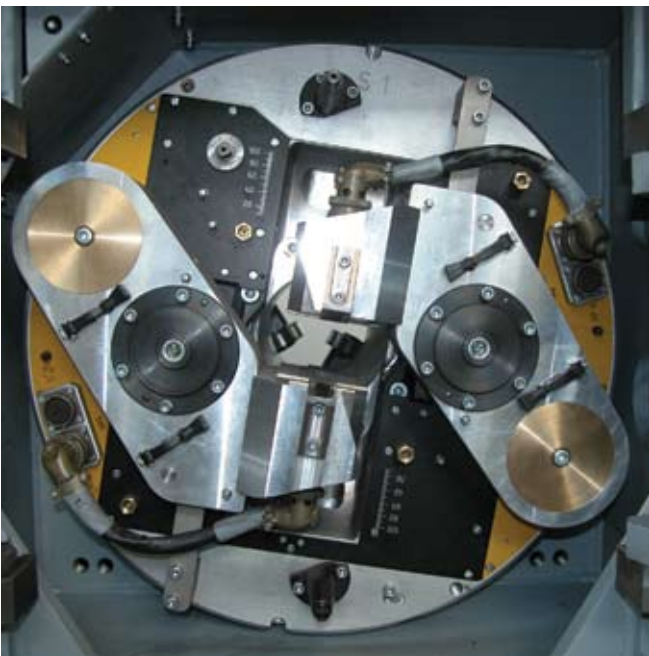




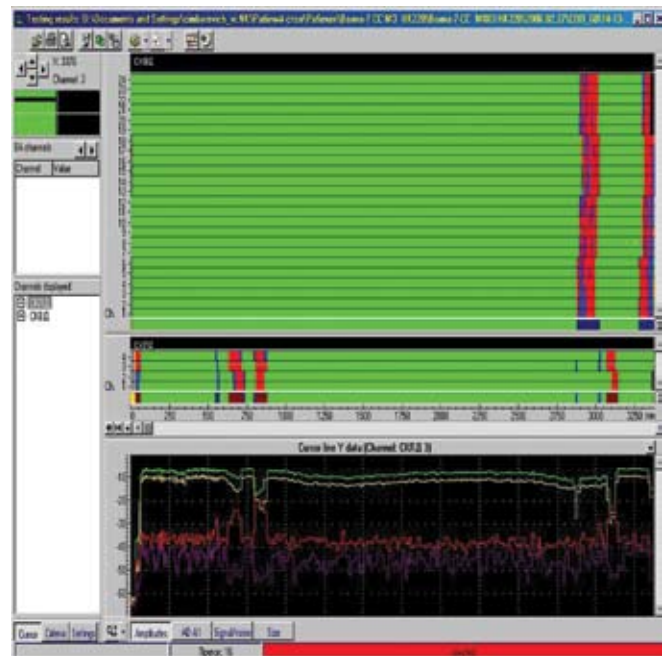
Фиг. 15. Установка «Волна-6» в сборочном цехе Компании «Нордінкфрфт» для ОАО «Мечел», г. Челябинск (Россия).



Фиг. 16. Установка «Волна-6» – ОАО «Северсталь», г. Череповец (Россия).



Фиг. 17. Измерительный модуль СКВ. Вращающаяся головка с двумя 8-канальными ЭМАП – «Ovako Steel» (Швеция).



Фиг. 18. Дефектограмма сортовой заготовки.



000 «Компания «Нординкрафт»  
162626 Россия, Вологодская область, г. Череповец, ул. Годовикова, 12  
Тел./факс: +7 (8202) 31 30 09  
E-mail: tech@nordinkraft.com, sales@nordinkraft.com

[WWW.NORDINKRAFT.COM](http://WWW.NORDINKRAFT.COM)