

Лекция 9

Обследование зданий и сооружений (продолжение)

Магнитные, электрические и электромагнитные методы

Учебные вопросы:

1. Магнитная дефектоскопия металла
2. Порошковый метод
3. Магнитографический метод
4. Применение магнитоскопов
5. Магнитные толщиномеры
6. Определение напряжений с помощью магнитоупругого тестера
7. Метод «магнитных меток»
8. Вихретоковый контроль
9. Приборы магнитно-индукционного типа
10. Определение влажности древесины

Магнитная дефектоскопия металла

Сущность метода заключается в том, что магнитный поток, проходящий в металле и пересекающий трещину или иной дефект, встречает большое магнитное сопротивление в виде прослойки воздуха или неферромагнитного включения, а силовые линии, искривляясь, выходят на поверхность, что обуславливает возникновение местных потоков рассеяния.

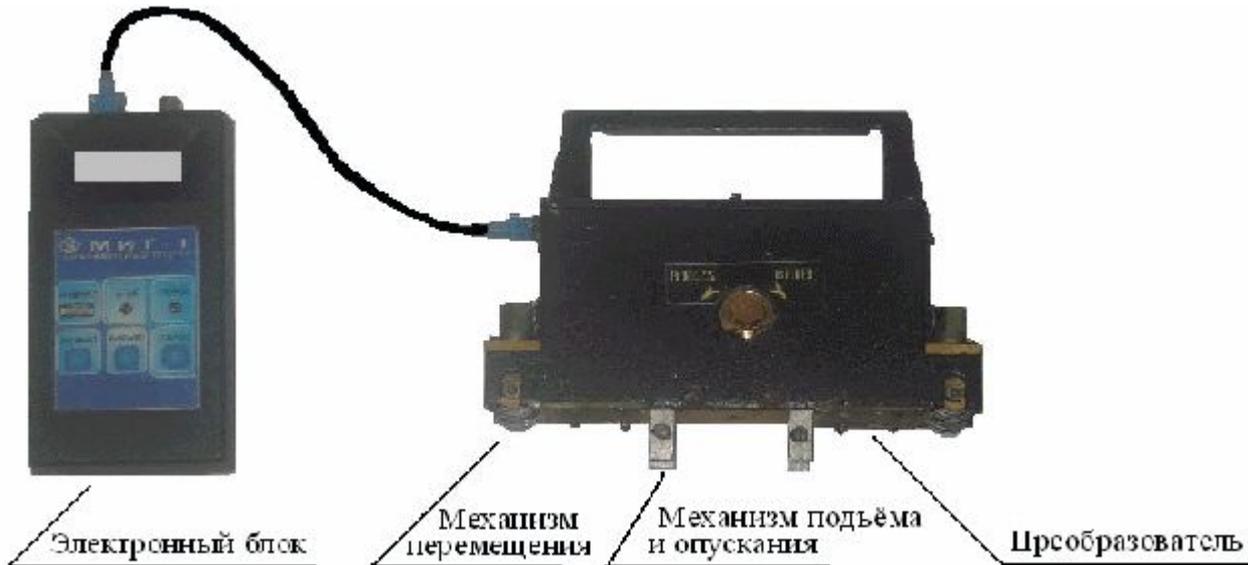


Рисунок 6 - внешний вид магнитного дефектоскопа МДТ-1

[В начало](#)

Магнитная дефектоскопия металла

На рисунке 7а показано такое искажение потока, выходящее за контур исследуемого элемента. Рассеивание будет тем значительнее, чем больше вызывающий его дефект. В одинаковых условиях наибольшим является влияние дефекта, расположенного перпендикулярно к направлению силовых линий (рисунке 7б)

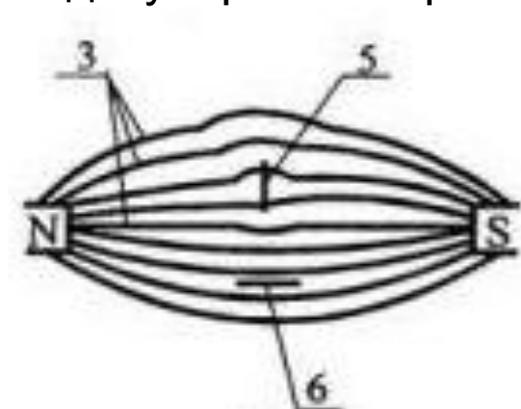
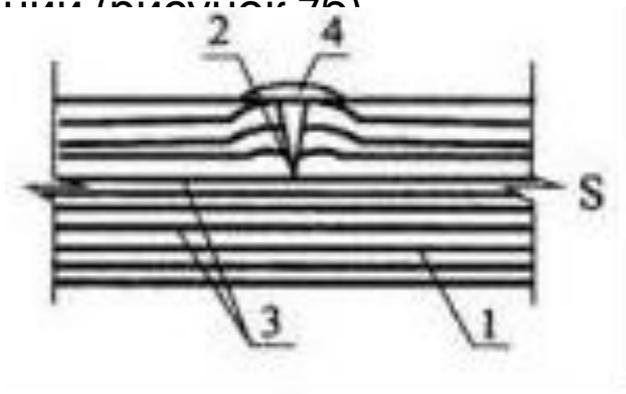


Рисунок 7 - Выявление дефектов по рассеиванию магнитного потока:

а - образование местного магнитного потока рассеивания у трещины;

б - влияние ориентировки дефекта;

1 - исследуемый элемент; 2 - трещина; 3 - силовые линии магнитного поля; 4 - местный магнитный поток рассеивания; 5 - дефект, ориентированный перпендикулярно магнитным силовым линиям; 6 - то же, параллельно им

[В начало](#)

Магнитная дефектоскопия металла

Намагничивание производится с помощью электромагнитов с использованием индукционных токов, циркулярным намагничиванием (т.е. с пропуском тока непосредственно через исследуемый элемент) и т.д. Необходимость намагничивания в двух взаимно перпендикулярных направлениях для выявления различным образом ориентированных дефектов отпадает при применении комбинированного метода - с одновременным воздействием как постоянного поля электромагнита, так и циркулярного поля переменного тока, что обуславливает переменное направление намагничивания. **Выявление дефектов** производится различными методами.

[В начало](#)

Порошковый метод

Является самым простым и наиболее доступным. В нем применяют мелкоразмолотые ферромагнитные порошки - железный сурик, окалину и т.п., выбирая цвет порошка контрастным по отношению к цвету предварительно зачищенной проверяемой поверхности. Порошок наносится или сухим способом (напылением) либо в виде водной суспензии, что предпочтительнее при контроле строительных конструкций, или керосино-масляной (этот прием целесообразен при контроле смазанных маслом деталей механизмов).

Над местами расположения дефектов порошок оседает в виде хорошо заметных скоплений. Четче всего выявляются поверхностные дефекты. Неровности сварных швов не мешают выявлению поверхностных дефектов, но затрудняют исследование расположенных в глубине. Так, например, в швах толщиной 10 мм удовлетворительно в виде прямых линий выявляются непровары, расположенные на расстоянии 2...4 мм от поверхности и идущие вглубь на 3...5 мм.

[В начало](#)

Магнитографический метод

Широко применяется при контроле сварных швов металлических трубопроводов. Намагничивание производится соленоидами, охватывающими или всю трубу или часть ее периметра при больших диаметрах. Витки соленоида располагаются параллельно шву по обеим его сторонам. Для фиксации потоков рассеивания на шов накладывается магнитная лента, аналогичная применяемой в магнитной звукозаписи, но несколько большей ширины. Использованные ленты размагничиваются и становятся вновь пригодными к употреблению.

Для расшифровки записи используют звуковые индикаторы или устройства для визуального наблюдения импульсов на экране электроннолучевой трубки и сопоставления их с импульсами от эталонированных дефектов. Имеются устройства, дающие и видимые изображения выявленных дефектов.

Указанным методом может производиться сплошная проверка швов. Для контроля наиболее серьезные из отмеченных дефектов дополнительно просвечиваются ионизирующими излучениями. Такое комбинированное использование разных методов оказывается весьма эффективным.

[В начало](#)

Применение магнитоскопов

В качестве примера на рисунке 8 схематически показан принцип действия одного из наиболее известных приборов такого типа - дефектоскопа К.Х. Хренова и С.Т. Назарова. Сигналы о наличии дефекта в производственных условиях преобразуются обычно в звуковые, но могут быть использованы как показывающие, так и регистрирующие приборы (измерители тока или напряжения, осциллограф

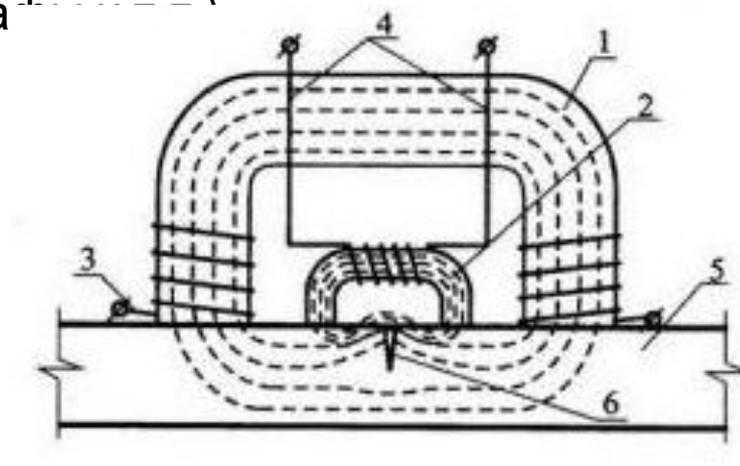


Рис. 8 - Схема дефектоскопа К. Х. Хренова и С. Т. Назарова:

1 - электромагнит; 2 - электромагнитный датчик; 3 - проводка к сети переменного тока; 4 - то же к усилителю; 5 - проверяемый элемент; 6 - дефект

[В начало](#)

Применение магнитоскопов.

Основным недостатком приборов рассматриваемого типа является довольно значительная длина базы их чувствительных элементов (в данном случае сердечника 2), что затрудняет уточнение границ и протяженности дефектов, поскольку регистрируются усредненные данные по длине базы искателя.

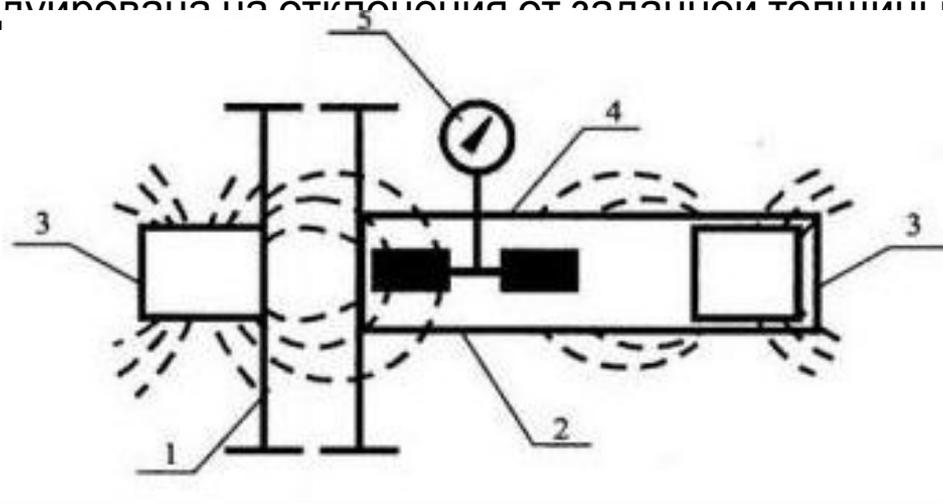
Эти затруднения в значительной степени устраняются при пользовании *феррозондами* в виде малогабаритных линейных сердечников сечением до 1...3 мм с катушками.

[В начало](#)

Магнитные толщиномеры

С помощью магнитных и электромагнитных приборов толщина элементов из ферромагнитных металлов определяется с точностью до нескольких процентов, требуя доступа лишь с одной стороны. При этом используется существующая зависимость между регистрируемой величиной магнитного потока и толщиной исследуемого материала. Приборы такого типа просты и надежны в работе.

При доступе с двух сторон магнитными и электромагнитными методами могут быть определены толщины и неферромагнитных материалов, что и используется для управления технологическим процессом на поточной линии. В качестве примера на рис. 8 приведена схема магнитного толщиномера, где пара феррозондов 4 смонтирована вместе с постоянным магнитом 3 в «щупе» 2. С другой стороны элемента к нему прижат аналогичный магнит. Положение магнита в щупе регулируется так, чтобы при заданной толщине стенки ток от обоих феррозондов был равен нулю. Шкала измерительного прибора 5 отградуирована на отклонения от заданной толщины.



[В начало](#)

Определение напряжений с помощью **магнитоупругого тестера**

Метод, основанный на возникновении магнитной анизотропии под действием приложенных напряжений. Из числа приборов, работающих по данному принципу, следует отметить прибор конструкции Н. Н. Максимова, схема преобразователя которого (три сердечника с пятью катушками) показана на рис. 9.

В центре сердечника расположена питающая катушка 1, а по диагоналям его - две пары измерительных катушек (2 и 3). Магнитный поток из средней катушки, попадая в исследуемый материал, рассредоточивается в основном по четырем направлениям. При одинаковой магнитной проницаемости потоки будут равны, а при наличии же магнитной анизотропии – различны, что и измеряется прибором.

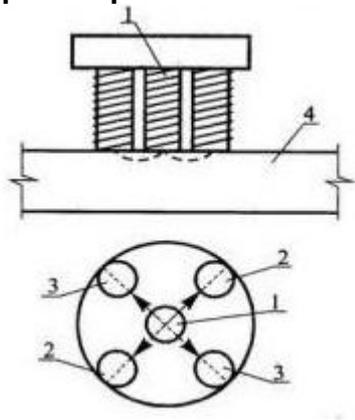


Рисунок 9 - Схема чувствительного элемента прибора Н. Н. Максимова для определения остаточных напряжений:
1- питающая катушка; 2 и 3 - измерительные катушки;
4 - исследуемый элемент.

Пунктиром со стрелками показано направление магнитных потоков исследуемом элементе.

Определение напряжений с помощью **магнитоупругого тестера**

Измерительная схема построена таким образом, что электродвижущая сила катушек может определяться как в каждой диагонали в отдельности, так и по их разности и сумме. При измерениях «на разность», поворачивая сердечник в плане, по экстремумам отсчетов выявляется направление главных напряжений в металле. По повторным измерениям при одинаковом положении сердечника можно судить о постоянстве напряженного состояния в данной точке или об его изменении. При измерениях «по сумме» можно судить о величине главных напряжений.

Необходимо иметь в виду следующее:

- магнитный поток, проходя в поверхностном слое металла, характеризует напряженное состояние лишь у поверхности элемента;
- на результаты измерений оказывает значительное влияние начальная магнитная анизотропия металла;
- при последовательных нагрузках и разгрузках появляются петли магнитного гистерезиса, не связанные с механическими напряжениями.

[В начало](#)

Метод «магнитных меток»

Другим перспективным направлением оценки напряженного состояния металла по его магнитным характеристикам является **метод «магнитных меток»**. Сущность его заключается в наведении внешним магнитным полем остаточной намагниченности в отдельных локализованных зонах исследуемого металла. При изменении напряженного состояния последнего меняется и намагниченность этих «меток», являющихся таким образом своеобразными индикаторами механических напряжений.

Наведение и индикация намагниченности меток производятся с помощью специальных переносных приборов.

Рассматриваемый метод предложен для контроля натяжения арматуры в железобетонных конструкциях. Как наведение, так и индикация состояния магнитных меток, могут осуществляться на оголенной арматуре до ее бетонирования и в уже забетонированных деталях и конструкциях - через защитный слой бетона.

[В начало](#)

Метод «магнитных меток»

Необходимо подчеркнуть следующее:

данним методом выявляется лишь *изменение* напряженного состояния по сравнению с имевшим место при нанесении меток;

переход от измерения остаточной намагниченности меток к механическому напряжению в арматуре может быть произведен лишь при наличии экспериментально установленной зависимости для *данной* арматуры, поскольку для разных меток металла эта зависимость не является стабильной;

чередование нагрузок и разгрузок сопровождается появлением петель магнитного гистерезиса. Для исключения их влияния требуется повторное нанесение меток перед переменной знака изменения напряжений.

Возможны и другие методы оценки напряженного состояния металла, например, по изменению электрического сопротивления (проводимости) и токовихревой, успешно разрабатываемые в настоящее время.

Приборы рассматриваемого типа надежны и удобны в применении

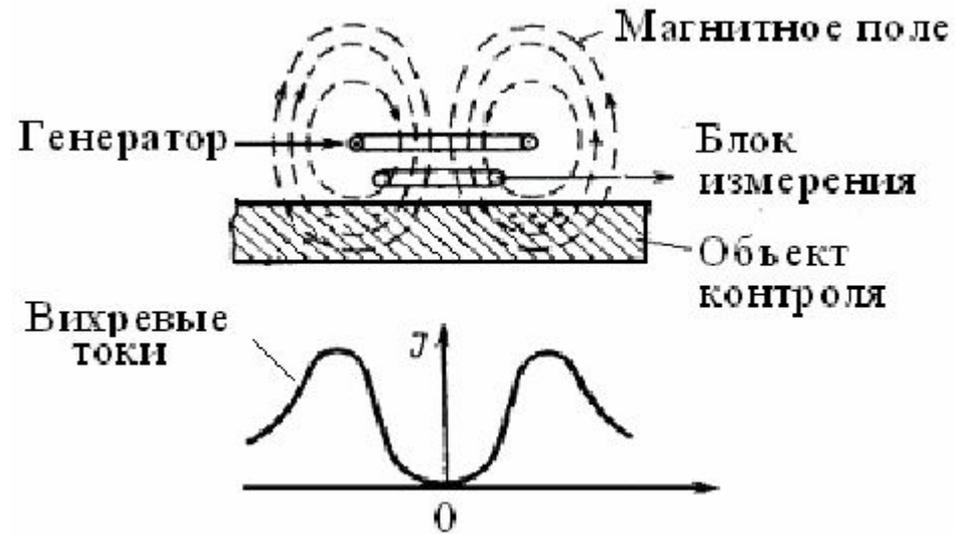
[В начало](#)

Вихретоковый контроль

Вихретоковые методы (ВТМ) контроля основаны на анализе взаимодействия внешнего электромагнитного поля с электромагнитным полем вихревых токов, наводимых возбуждающей катушкой в электропроводящем объекте контроля. Плотность вихревых токов в объекте зависит от геометрических и электромагнитных параметров объекта, а также от взаимного расположения измерительного вихретокового преобразователя (ВТП) и объекта. В качестве преобразователя используют обычно индуктивные катушки (одну или несколько). Синусоидальный (или импульсный) ток, действующий в катушках ВТП, создает электромагнитное поле, которое возбуждает вихревые токи в электропроводящем объекте (Рис. 9). Электромагнитное поле вихревых токов воздействует на катушки преобразователя, наводя в них ЭДС или изменяя их полное электрическое сопротивление. Регистрируя напряжение на зажимах катушки или их сопротивление, получают информацию о свойствах объекта и о положении преобразователя относительно него.

[В начало](#)

Вихретоковый контроль



[В начало](#)

Вихретоковый контроль

Плотность вихревых токов максимальна на поверхности объекта в контуре, диаметр которого близок к диаметру возбуждающей обмотки, и убывает до нуля на оси ВТП при удалении $\square \square$. Плотность вихревых токов убывает также и по глубине объекта контроля. Следовательно, вихретоковые методы эффективны только для контроля поверхностных слоев объектов.

Особенность вихретокового контроля также и в том, что его можно проводить без контакта преобразователя и объекта. Их взаимодействие происходит обычно на расстояниях, достаточных для свободного движения преобразователя относительно объекта (от долей миллиметра до нескольких миллиметров). Поэтому этими методами можно получать хорошие результаты контроля даже при высоких скоростях движения объектов или проводить дефектоскопию объекта с защитным нетокопроводящим покрытием. Получение первичной информации в виде электрических сигналов, бесконтактность и высокая производительность определяют широкие возможности автоматизации вихретокового контроля.

[В начало](#)

Вихретоковый контроль

С помощью ВТМ обнаруживают дефекты типа несплошностей, выходящих на поверхность или залегающих на небольшой глубине (в электропроводящих листах, прутках, трубах, проволоке, железнодорожных рельсах, мелких деталях и т.д.), а также разнообразные трещины, расслоения, закаты, плены, раковины, неметаллические включения и т.д. При использовании накладного преобразователя при благоприятных условиях контроля и малом влиянии негативных факторов удается выявить трещины глубиной 0,1-0,2 мм, протяженностью 1-2 мм.

ВТМ позволяют успешно решать задачи контроля размеров изделий. С помощью ВТМ измеряют диаметр проволоки, прутков и труб, толщину металлических листов и стенок труб при одностороннем доступе к объекту, толщину электропроводящих (например, гальванических) и диэлектрических (например, лакокрасочных) покрытий на электропроводящих основаниях, толщину слоев многослойных структур, содержащих электропроводящие слои. Измеряемые толщины могут изменяться в пределах от микрометров до десятков миллиметров. Для большинства приборов погрешность измерения составляет 2-5%.

С помощью ВТМ измеряют также зазоры, перемещения и вибрации в машинах и механизмах. Приборы, осуществляющие данный метод контроля, называются вихретоковыми толщиномерами. К основным видам толщиномеров относятся: толщиномеры диэлектрических покрытий на электропроводящих основаниях, толщиномеры электропроводящих покрытий на электропроводящем основании, толщиномеры электропроводящего слоя.

Приборы магнитно-индукционного типа

Для выявления *положения и глубины залегания арматуры* предложены магнитометрические приборы, состоящие из двух постоянных магнитов, в центральной части магнитного поля, которых расположен на оси небольшой магнит, соединенный со стрелкой-указателем. При приближении к арматуре напряженность магнитного поля в средней точке изменяется, что обуславливает возникновение магнитного момента, поворачивающего магнитик со стрелкой. Экстремум отклонения указателя соответствует расположению прибора на поверхности контролируемого изделия над осями арматурных стержней, а отклонение стрелки указывает на толщину защитного слоя бетона.

Приборы магнитно-индукционного типа

Принцип действия одного из наиболее распространенных приборов индукционного типа схематически показан на рис. 10.

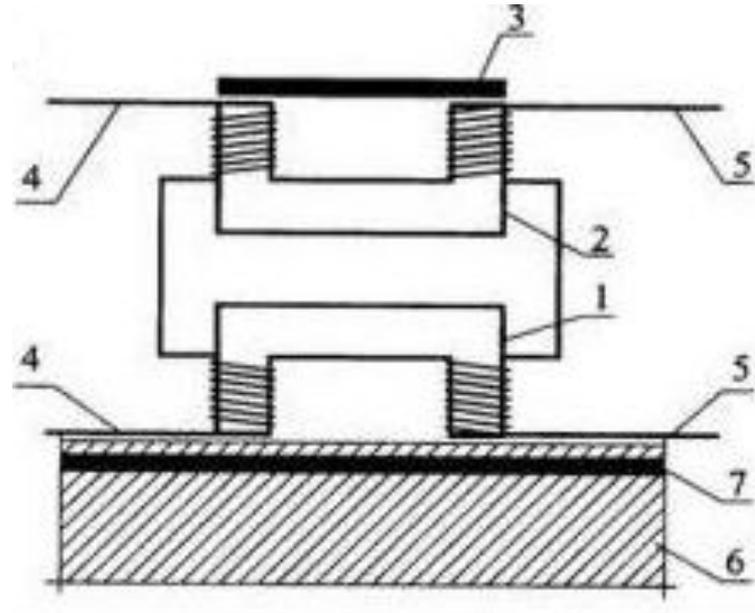


Рисунок 10 - Индукционный прибор для проверки положения и диаметра арматуры и толщины защитного слоя: 1 - выносной индуктивный преобразователь;
2 - преобразователь в корпусе прибора; 3 - стержень для регулирования индуктивного сопротивления; 4 - проводка к источнику переменного тока; 5 - проводка к отсчетному устройству; 6 - железобетонный элемент; 7 - арматурный стержень

[В начало](#)

Приборы магнитно-индукционного типа

Установив расположение стержней, передвигают преобразователь вдоль контролируемого стержня до положения, соответствующего минимальному отсчету, следя за тем, чтобы преобразователь находился между пересечениями арматуры. Записав толщины защитного слоя по шкалам всех диаметров, повторяют отсчет, поместив между бетоном и преобразователем прокладку, толщиной, например, 10 мм из оргстекла, дерева или другого диамагнетика. Диаметр арматуры будет соответствовать той из шкал, разность отсчетов по которой окажется равной именно 10 мм.

[В начало](#)

Определение влажности древесины

По замеренному электрическому сопротивлению можно судить о состоянии материала в конструкции, пользуясь соответствующими зависимостями между электропроводимостью и влажностью для данного сорта дерева.

Измерения производятся с помощью игольчатых электродов, заглубляемых в древесину на 5..10 мм, что характеризует электросопротивление ее поверхностного слоя. Для элементов, эксплуатируемых в течение длительного времени при постоянном температурно-влажностном режиме (например, для внутренних несущих конструкций в сооружениях), по этим данным можно судить о влажности по всей толщине сечений элементов.

[В начало](#)

Оценка прочности металла

Прочность стали эксплуатируемых конструкций оценивают:

- по данным заводских сертификатов;
- по результатам лабораторных испытаний;
- неразрушающими методами.

Метод отбора проб из конструкции

Образцы из сортового и фасонного проката вырезаются вдоль направления прокатки огнем с отступом на 10 мм от грани будущей заготовки (припуски для предохранения образца от наклёпа и нагрева). Из листового металла образцы вырезают поперёк или в направлении силового потока, если направление прокатки не известно.

Образцы предпочтительно отбирать из ненагруженных или малонагруженных участков элемента. Вырезки заполняются вваркой вставок с усилением их накладками.

Образцы испытывают на растяжение и ударную вязкость стандартизированными лабораторными методами. Химический состав металла определяют на пробах в виде стружки.

Все замечания о трудностях и недостатках метода, описанные выше для бетонных образцов, распространяются и на образцы из металла.

[В начало](#)

Оценка прочности металла

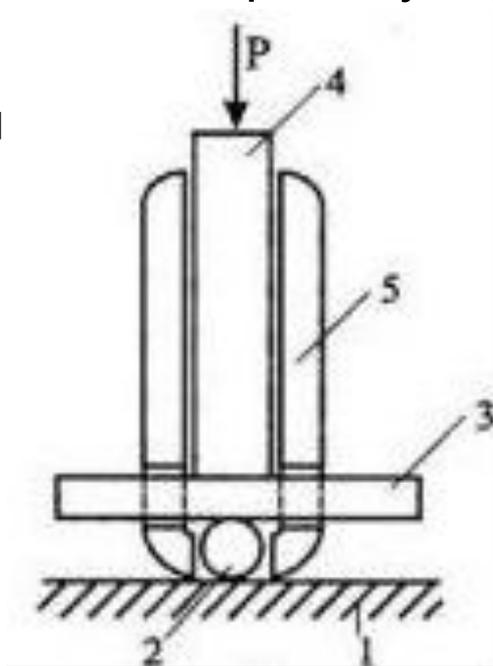
Метод измерения пластической деформации

Прибор Польди ударного действия (Чехия, ГОСТ 22690.4). (Иногда встречается название «*Прибор Польди-Вайцмана*»).

Наконечником прибора является шарик 2 диаметром 10 мм из твердой закаленной стали, дающий при ударе отпечаток одновременно на исследуемом металле 1 и на стальном эталонном бруске 3, твердость которого $HV^{ЭТ}$ должна быть заранее определена. Для получения отпечатков ударяют молотком по верхнему торцу стержня 4.

Рисунок 1 - Схема прибора Польди

- 1 - исследуемый материал;
- 2-стальной шарик;
- 3- эталонный брусок;
- 4- ударный стержень;
- 5- обойма прибора



[В начало](#)

Оценка прочности металла

Метод измерения пластической деформации

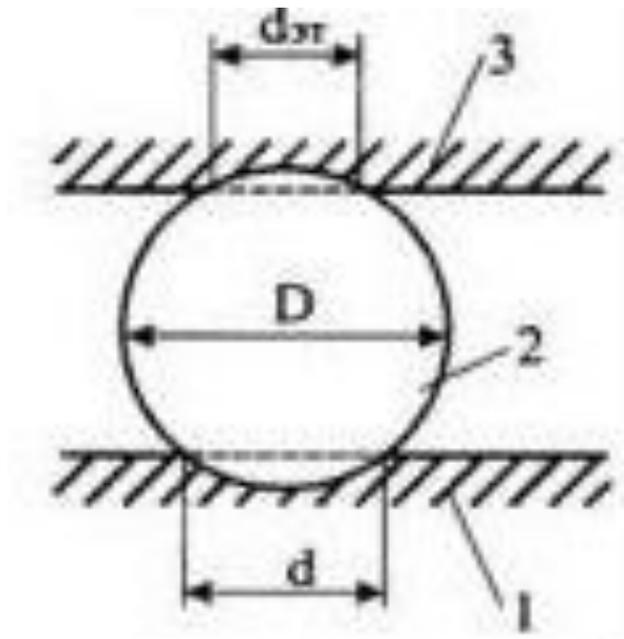
Твердость НВ исследуемого металла испытываемой конструкции определится из соотношения

$$HB = HB^{эт} \cdot \frac{D - \sqrt{D^2 - d_{эт}^2}}{D - \sqrt{D^2 - d^2}}$$

где D - диаметр стального шарика 2 (рис.2);
 d - диаметр отпечатка на поверхности исследуемого материала;
 $d_{эт}$ - то же, на эталонном бруске.

Рисунок 2 - Отпечатки, получаемые с помощью прибора Польди:

- 1 - исследуемый материал;
- 2 - стальной шарик;
- 3 - эталонный брусок



[В начало](#)