

УДК 620.179.14

ОЦЕНКА НАПРЯЖЕНИЙ В СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ НА ПРИМЕРЕ ИЗГИБАЕМЫХ БАЛОК

А.Н. ШЕШУКОВ

(Полоцкий государственный университет)

При проведении работ по оценке надежности стальных конструкций, работающих при статическом нагружении, в общем случае необходимо решить две задачи:

- 1) произвести оценку прочностных и деформационных свойств стали;
- 2) определить интенсивность и характер распределения действующих в конструкции напряжений.

Для решения первой задачи традиционно используют испытание образцов по ГОСТ 1497-84. Более сложной задачей является определение действующих в конструкции напряжений. По нашему мнению, из множества методов оценки механических напряжений самым перспективным является метод магнитного эффекта Баркгаузена (МЭБ). Этот метод характеризуется рядом особенностей, выгодно отличающих его от других методов неразрушающего контроля. Это, во-первых, высокая чувствительность информативных параметров метода к практически любым изменениям структурно-напряженного состояния ферромагнетика, которая может быть сопоставима с чувствительностью метода рентгеноструктурного анализа, но, учитывая неразрушаемость и его относительно простую техническую реализацию, можно отдать предпочтение МЭБ. Во-вторых, избирательность метода по отношению к составляющим тензора напряжений. Метод чувствителен к нормальным напряжениям и позволяет определять направление главных напряжений при построении круговых диаграмм.

Для выработки конкретных рекомендаций по оценке напряжений в натуральных конструкциях проведены экспериментальные исследования с использованием прибора «INTROMAT», разработанного в лаборатории вычислительной диагностики Института прикладной физики НАН Беларуси. Определение функциональной зависимости между спектральной плотностью магнитного шума (параметр V) и механическими напряжениями проводилось на образцах из стали СтЗсп, изготовленных из поясов двутавровой балки № 10, в соответствии с ГОСТ 1497-84. Образец с закрепленным на нем магнитошумовым датчиком устанавливался в захватах разрывной машины Р-20 и нагружался до разрушения (рис. 1, а, б). Во время проведения испытаний (при построении диаграммы растяжения образца) фиксировались параметры магнитного шума и увеличение нагрузки.

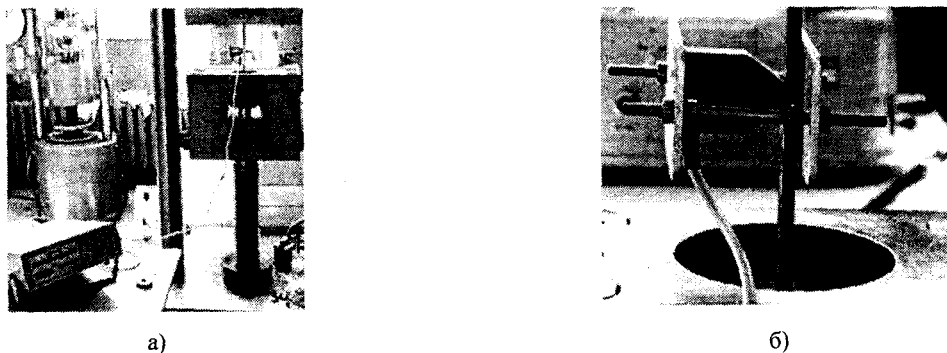


Рис. 1. Магнитошумовой датчик

В качестве примера на рис. 2 показана типичная кривая зависимости параметра V и деформации a от величины напряжений, где хорошо видна высокая чувствительность магнитошумового параметра к упругим растягивающим напряжениям и пластическим деформациям образца.

Как видно из рис. 2, до предела текучести параметр V изменяется по линейной зависимости, что дает возможность описать этот участок уравнением вида:

$$y = Kv + v_0,$$

где $y = \sigma$ - нормальные напряжения; v — спектральная плотность шума; K - коэффициент; v_0 - спектральная плотность шума при $a = 0$.

На рис. 2 также показано уравнение аппроксимации параметра V в упругой области деформации образца № 2.

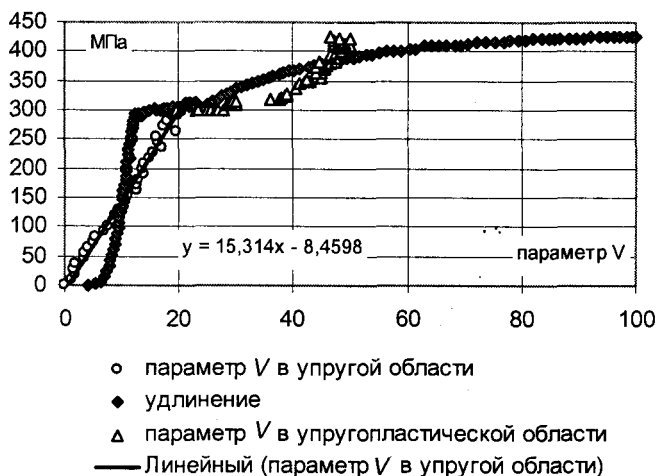


Рис. 2. Зависимость параметра V и деформации ϵ от величины напряжений σ (показано также уравнение аппроксимации линейного участка диаграммы)

Всего для определения функциональной зависимости между напряжениями и параметрами магнитного шума было испытано 5 образцов. Результаты испытаний образцов приведены в таблице.

Уравнения аппроксимации линейного участка диаграмм $V - \sigma$

Номер образца	Уравнение линейного участка кривой	Отклонение значений напряжений, вычисленных от среднего значения, в %	Предел текучести σ_t , МПа	Предел прочности σ_b , МПа	Место вырезки образца по сечению двутавра № 10
1	$y = 13,58x - 41,97$	-20,9	271	378	Полка
2	$y = 15,31x - 8,46$	6,9	294	424	Полка
3	$y = 16,45x - 2,14$	17,9	332	457	Стенка
4	$y = 16,16x - 48,9$	-5,3	286	426	Полка
5	$y = 13,07x - 16$	-12,7	292	422	Стенка
Усредненное уравнение: $y = 14,748x - 15,2$					

Для оценки напряжений в натурной конструкции использовалась установка, представляющая собой силовую раму с гидравлическим домкратом (рис. 3).

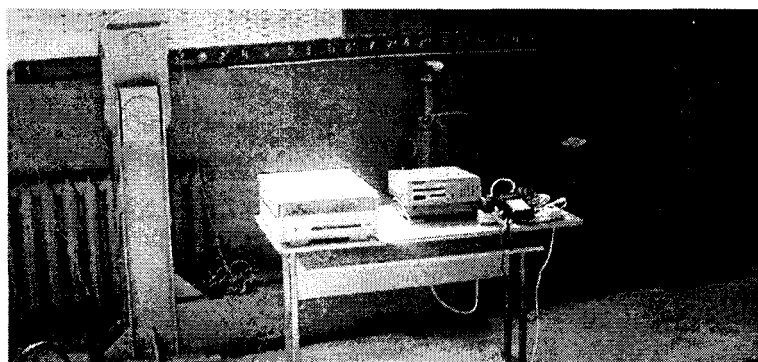


Рис. 3. Натурная балка (двутавр № 10), установленная на силовую раму

Двутавровая балка № 10 пролетом 3 м нагружалась по схеме трехточечного изгиба в центре, затем в первой четверти пролета нагрузкой 1000 кг (область упругих деформаций). Последнее нагружение осуществлялось нагрузкой 1600 кг до образования пластической деформации в поясах балки. Контроль нагрузки, прикладываемой к нижнему поясу балки, осуществлялся образцовым динамометром ДОСМ-5, установленным между домкратом и балкой. В местах установки магнитошумового преобразователя с целью снятия коррозионных отложений поверхность балки предварительно была зачищена шлифмашин-

кой. При каждом нагружении величина параметра V регистрировалась при расположении датчика параллельно оси балки.

Измерение производилось в 16-ти точках, расположенных на верхнем поясе по длине балки через 20 см. Точка № 16 являлась реперной и находилась на консоли. До начала нагружения в указанных точках снимались показания параметра V , для учета влияния структурной составляющей.

Результаты измерения параметра V , полученные при действии нагрузки в середине пролета балки и в первой четверти пролета, показаны на рис. 4, а, б соответственно.

Из рисунков видно, что распределение напряжений в верхнем поясе балки, полученное измерением параметра V , качественно повторяет очертание эпюры расчетных напряжений. Количественные значения напряжений, определенные по экспериментальным данным, в ряде случаев имеют отклонения от теоретических данных. Это обусловлено, по-видимому, различным состоянием поверхности в исследуемых точках балки. При подсчете экспериментальных напряжений по уравнениям линейной аппроксимации погрешность оценки напряжений значительно снижается.

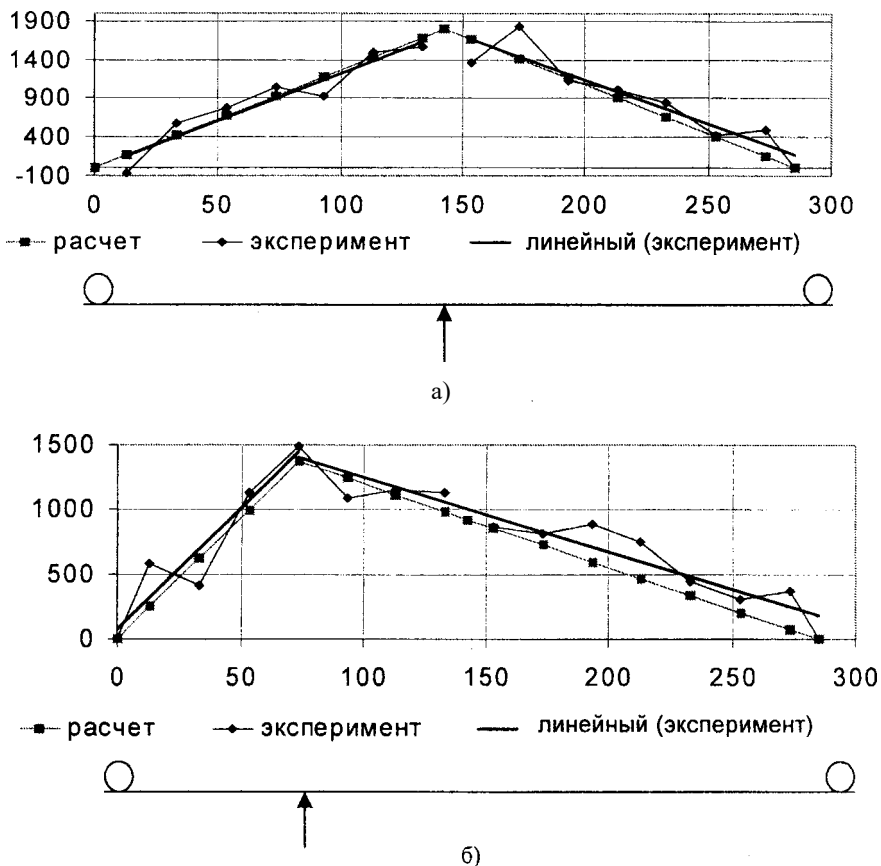


Рис. 4. Оценка напряжений методом МЭБ:

- а - эпюра нормальных напряжений при нагрузке 1000 кг, приложенной в центре балки;
- б - эпюра нормальных напряжений при нагрузке 1000 кг, приложенной в первой четверти балки

Эпюра напряжений при нагрузке 1600 кг, приложенной в центре пролета, показана на рис. 5. Теоретически в данном случае в месте наибольшего изгибающего момента должно возникать напряжение, равное 287 МПа, т.е. на уровне площадки текучести.

Из рисунка видно, что напряжения по центру пролета в четырех точках находятся на уровне 120 МПа. Это объясняется тем, что развитие пластической деформации по нижнему поясу балки приводит к общей релаксации напряжений в сечении. Развитие же зоны пластичности в нижнем поясе происходит вследствие значительного уровня контактных напряжений в зоне приложения нагрузки.

Высокая чувствительность метода МЭБ к структурным изменениям в металле предполагает возможность использования его для обнаружения локальных участков с измененной, вследствие пластической деформации, структурой. Пластическая деформация возникает прежде всего в местах концентрации напряжений, которые, как правило, расположены в области дефектов типа нарушения сплошности, т.е. МЭБ можно использовать как метод дефектоскопии.

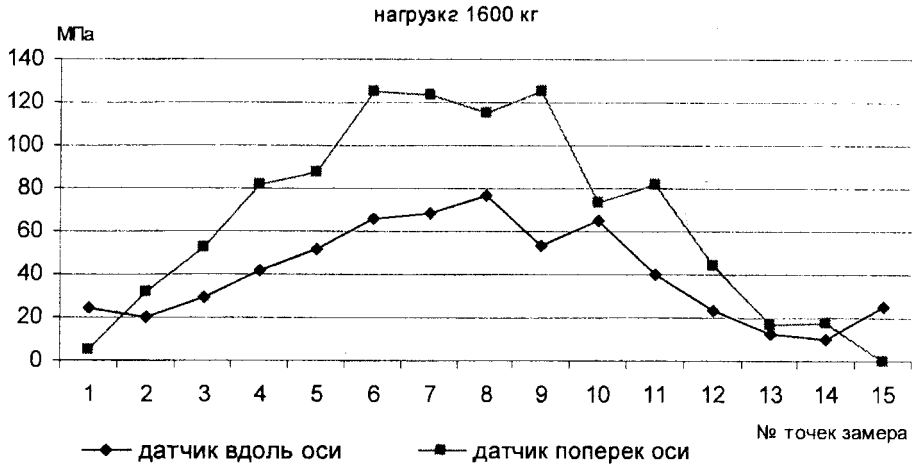


Рис. 5. Эпюра нормальных напряжений в верхнем поясе балке при нагрузке 1600 кг (нагрузка приложена в точке 8)

Для определения зависимости величины параметра V от степени остаточной деформации проведено два эксперимента:

- 1) три образца нагружались на разрывной машине до возникновения остаточной деформации соответственно 5, 10 и 20 %, после чего на каждом образце проводилось измерение параметра V ;
- 2) образец с прикрепленным к нему магнитошумовым датчиком устанавливался в зажимах разрывной машины и последовательно нагружался до образования остаточной деформации 0,3...2 %, как показано на рис. 6. Параметр V измерялся на каждом шаге сброса нагрузки.

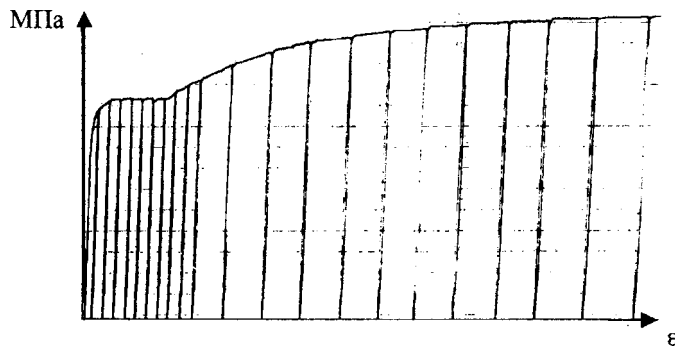


Рис. 6. Нагружение образца для оценки влияния пластической деформации на величину параметра V

Зависимость величины параметра V от пластической деформации показана на рис. 7.

Из рисунка видно, что остаточная деформация более 1 % дает резкий скачок значения параметра V . Зависимость V от остаточной деформации менее 1 % требует дополнительных, более точных исследований.

Для оценки пригодности использования метода МЭБ для обнаружения в натуральных конструкциях участков с пластической деформацией был проведен эксперимент на двутавровой балке № 10 (см. рис. 3).

После снятия нагрузки, вызвавшей пластическую деформацию нижнего пояса балки, произвели сканирование поверхности нижнего пояса с внутренней стороны магнитошумовым датчиком с шагом 1 см.

Из результатов сканирования (рис. 8) видно, что экстремальные значения находятся в области от -5 до 10 см и от 55 до 70 см, где соответственно расположены участок пластической деформации и локальный очаг коррозии.

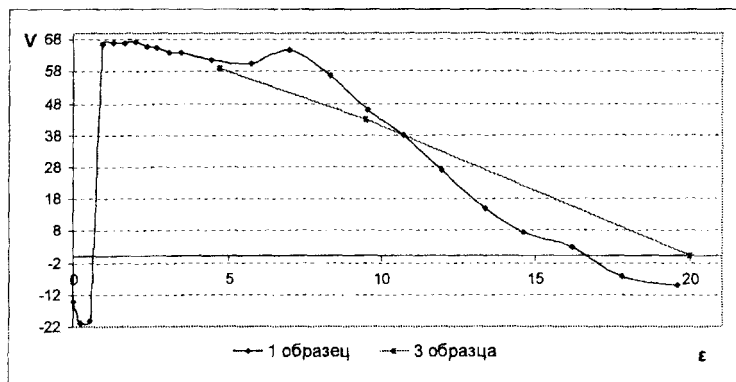


Рис. 7. Зависимость параметра V от величины остаточной деформации ϵ

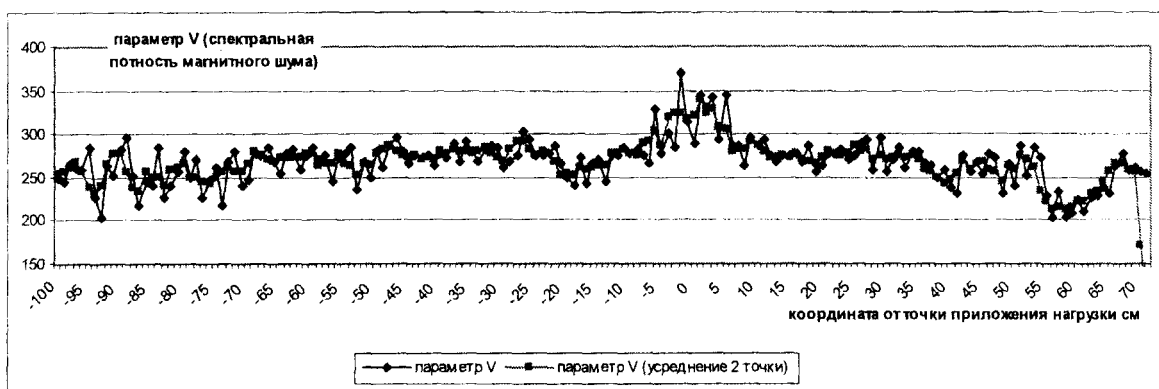


Рис. 8. Распределение параметра V (спектральная плотность магнитного шума) по нижнему поясу балки после снятия нагрузки, вызвавшей пластическую деформацию (нагрузка была приложена в точке «О»)

Таким образом, в результате выполненных экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Спектральная плотность мощности магнитного шума обладает высокой чувствительностью к приложенным растягивающим напряжениям в образцах и натуральных объектах.
2. Экспериментальные данные распределения напряжений по длине изгибаемой балки, полученные с применением метода МЭБ, качественно и количественно совпадают с расчетной эпюрой напряжений.
3. Погрешность оценки количественного значения напряжений значительно уменьшается, если подсчет напряжений вести по линейно аппроксимированным значениям эксперимента.
4. Полученные данные свидетельствуют о возможности использования параметров МЭБ (в частности, спектральной плотности магнитного шума) для оценки напряжений в образцах и стальных конструкциях.
5. Величина спектральной плотности магнитного шума резко возрастает от остаточной деформации величиной более 1 %.
6. Влияние остаточной деформации величиной менее 1% на величину спектральной плотности магнитного шума требует дополнительных исследований.
7. Метод МЭБ позволяет обнаруживать участки с измененной структурой материала (в том числе в зонах концентрации напряжений), что делает его применимым в дефектоскопии конструкций.