

МЕТОД ОЦЕНКИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ МОСТОВ

Улыбин А.В., Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, Санкт-Петербург

Аннотация

Описан новый метод неразрушающего контроля напряжений в крупногабаритных стальных конструкциях, основанный на измерении удельного электрического сопротивления стали. В упругой зоне работы материала зависимость прямая и близка к линейной. Установлена связь между электрическим сопротивлением и напряжениями сжатия и растяжения, возникающими в стали.

Ключевые слова: деформация, напряжение, сталь, удельное электрическое сопротивление.

Сегодня в России, как и в других странах [1], эксплуатируется множество мостов и путепроводов, большая часть несущих конструкций которых выполнена из стали. В связи с длительным сроком эксплуатации под действием динамических нагрузок и в условиях агрессивной среды конструкции имеют высокий уровень износа и часто требуют ремонта, реставрации и реконструкции. Оценка фактического технического состояния элементов конструкций производится на основе визуального осмотра, поверочных расчетов, а также с помощью различных методов неразрушающего контроля (НК) напряжений.

Необходимо отметить, что визуальный контроль, а также проведение мониторинга, как геодезического, так и с применением акселерометрических датчиков, позволяют только косвенно судить о напряженном состоянии конструкции. Лабораторный контроль по отбираемым из конструкции образцам дает возможность оценить изменение структуры материала со временем, но сильно ограничен по объему выборки, имеет точечный характер, обладает повышенной трудоемкостью, в том числе вследствие необходимости восстановления поврежденных при отборе участков. В связи с этим методы НК напряженно-деформированного состояния (НДС), применение которых возможно на стальных конструкциях мостовых сооружений, широко развиваются во всем мире [2].

Среди известных методов НК НДС можно отметить следующие.

Рентгеновская дифрактометрия (тензометрия) – основана на измерении угла отражения дифраги-

Abstract

New method of nondestructive control of the intense-deformed condition of steel constructions is investigated. The method based on the measurement of electric resistivity of steel. The interdependence of electric resistivity and the compression and stretching tension in steel is defined.

Key words: deformation, electric resistivity, steel, tension.

рованных рентгеновских лучей при их прохождении через поверхностный слой обследуемого участка материала. Этот метод был успешно применен учеными ФТИ им. А.Ф. Иоффе под руководством д.т.н. А.М. Лексовского на ряде строительных конструкций [3], в том числе в 1998 г. для измерения напряжений в главных балках хвостовой части крыльев разводного пролетного строения в левобережной низовой опоре моста Александра Невского в Санкт-Петербурге.

Широко внедряемый в последние годы в различных отраслях промышленности **метод магнитной памяти металла**, разрабатываемый под руководством д.т.н. А.А. Дубова, по своим свойствам и параметрам также может применяться для решения указанных задач. Метод основан на связи дислокационных процессов с физикой магнитных явлений, происходящих в металле.

Магнитоферрозондовый метод, описанный в ГОСТ 21104-75, используется для НК поверхностных и подповерхностных дефектов типа нарушения сплошности в любых изделиях из ферромагнитных материалов. Метод основан на выявлении магнитного поля рассеяния дефекта и на преобразовании его в электрический сигнал, регистрируемый специальной аппаратурой. Сотрудниками СПбГАСУ (ЛИСИ) Е.Г. Гордиенко, В.Е. Гордиенко и др. проведены обширные исследования по внедрению этого метода для контроля напряженного состояния элементов конструкций. В работах этих исследователей выявлены зависимости напряженности магнитного поля рассеяния от действующих внутренних напряжений [4], проанализированы

условия наиболее эффективного применения метода в ходе натурных обследований.

Каждый из этих методов нашел свою сферу применения, тем не менее, существуют определенные ограничения на их использование в интересующей нас области.

Относительно новым методом определения напряжений в металлическом изделии является разработанный сотрудниками ПИМаш и запатентованный в 2006 г. **резистивный электроконтактный (РЭ) метод**, основанный на зависимости удельного электрического сопротивления (УЭС) металла от его НДС.

Работоспособность нового метода была подтверждена в ходе ряда натурных испытаний в 2000 г. По итогам работы представлены результаты натурных исследований напряжений в конструкциях моста Александра Невского, выполненные РЭ-методом под руководством С.Ю. Иванова в 2000 г. В результате проведенных исследований отработана технология проведения измерений, оценена эффективная глубина измеряемого слоя, а также непосредственно определены остаточные напряжения в элементах конструкции и их распределение по глубине.

Основной целью разработанной и воплощенной в приборе «СИТОН-АРМ» методики является контроль остаточных напряжений в поверхностных слоях конструкций и изделий из металлов и сплавов, т. е. напряжений, возникших в металле в ходе изготовления, обработки и в процессе эксплуатации и сохраняющихся без воздействия эксплуатационной нагрузки [5].

Целью исследования, проведенного автором, являлась оценка возможности применения РЭ-метода для определения напряжений, возникающих в элементе конструкции под воздействием приложенной эксплуатационной нагрузки.

Для достижения поставленной цели с помощью прибора «СИТОН-АРМ» проведен ряд лабораторных экспериментов. Объектом исследования являлось УЭС, измеряемое на образцах, изготовленных из стальных элементов марки Ст3.

Все образцы были отобраны из стальных прокатных профилей двутаврового сечения.

Из них было изготовлено 10 пластин длиной 230-300 мм, шириной 20-35 мм и толщиной 4,7-10,0 мм. В ходе исследований выполнялось растяжение пластин на разрывной машине Р-20, а также изгиб на специально разработанном стенде. Параллельно с изменением НДС проводилось измерение УЭС.

В результате экспериментальных исследований, выполненных автором, выявлено следующее.

УЭС стали имеет близкую к линейной зависимость от напряжений как при растяжении (рис. 1), так и при поперечном изгибе (рис. 2).

Зависимость сохраняется как при положительном, так и при отрицательном значении деформации (см. рис. 2).

Зависимость сохраняется как при пошаговом приложении нагрузки, так и при ее пошаговом снятии (рис. 3).

В упругой стадии работы материала зависимость УЭС от напряжений прямо пропорциональная.

При переходе в пластическую зону работы при растяжении материала зависимость УЭС от на-

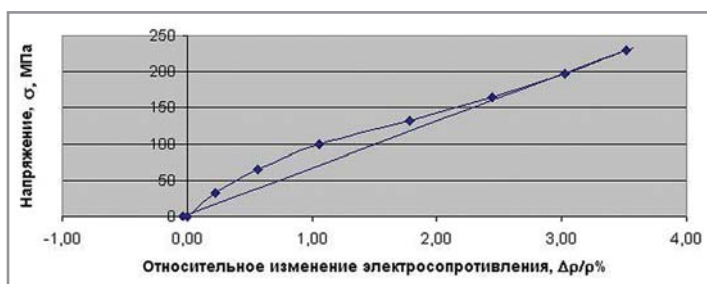


Рис. 1. Зависимость УЭС от механических напряжений в стальном образце при его растяжении

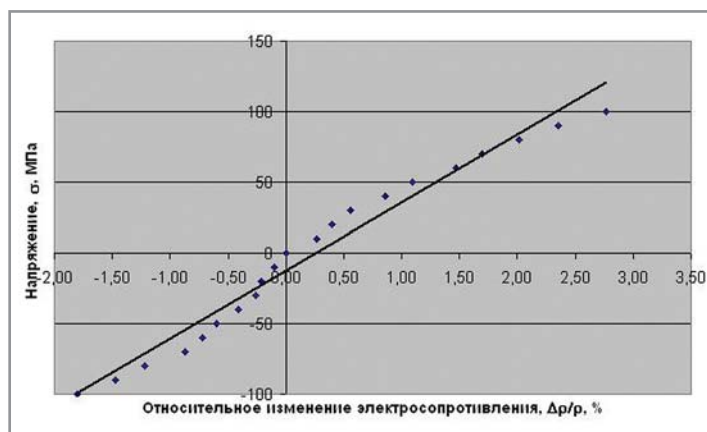


Рис. 2. Зависимость УЭС от механических напряжений в стальном образце при его изгибе

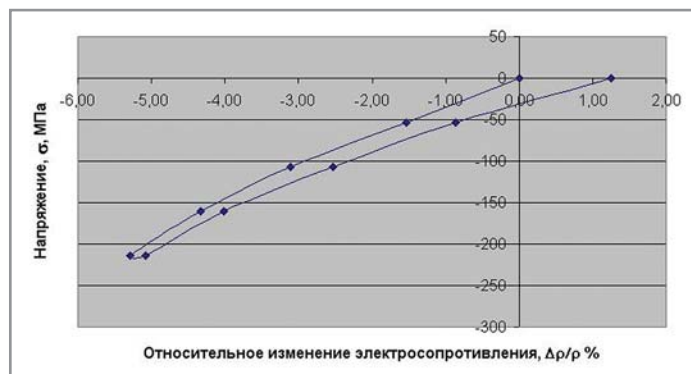


Рис. 3. Зависимость УЭС от механических напряжений при пошаговом сжатии и разгрузке стального образца

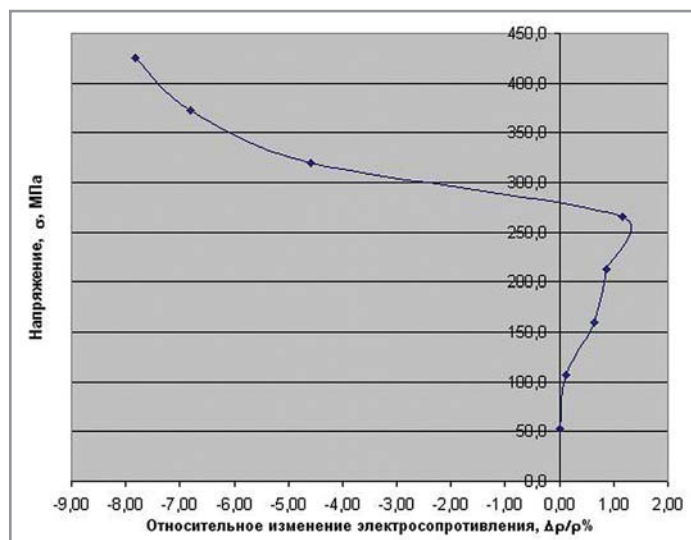


Рис. 4. Зависимость УЭС от растягивающих напряжений вне упругой зоны работы

пряжений изменяется на обратно пропорциональную (рис. 4).

По результатам исследований, представленных в статье, а также других исследований, проведенных автором, сделаны следующие выводы.

1. Установлена связь между удельным электрическим сопротивлением и напряжениями растяжения-сжатия. По результатам статистической обработки экспериментальных данных коэффициент корреляции в упругой зоне деформаций имеет значение 0,97-0,99.

2. Резистивный электроконтактный метод можно применять для мониторинга НДС стальных элементов конструкций мостов.

3. Для оценки текущего НДС металла необходимо проведение испытаний с приложением дополнительной нагрузки или с частичной разгрузкой конструкции. По смене тенденции зави-

симости электрического сопротивления от НДС можно судить о наличии либо отсутствии пластических деформаций, которые и являются критерием несущей способности.

4. Метод можно применять как на сжатых, так и на изгибаемых элементах.

5. Измерения необходимо производить в элементах конструкций и их зонах с максимальными ожидаемыми напряжениями. Для этого необходимо предварительно исследовать модель конструкции с применением традиционных методик расчета, в том числе автоматизированных.

В настоящее время проводятся исследования по выявлению влияния на УЭС таких факторов, как степень и вид обработки поверхности, а также расположение датчика относительно направления главных напряжений.

Литература

1. Haggag F.M. Using Portable/In-Situ Stress-Strain Microprobe System to Measure Mechanical Properties of Steel Bridges During Service / F.M. Haggag, J.A. Wang, T.J. Theiss // SPIE. – 2008. – Vol. 2946/75. – P. 65-75.

2. Дубов А.А. Принципиальные отличительные признаки метода магнитной памяти металла и приборов контроля в сравнении с известными магнитными методами неразрушающего контроля / А.А. Дубов // Контроль. Диагностика. – 2003. – № 12. – С. 35-38.

3. Лексовский А.М. Применение рентгеновской тензометрии для определения напряженно-деформируемого состояния / А.М. Лексовский, Б.Л. Баскин, А.В. Улыбин // Материалы XI научно-методич. конф. ВИТУ «Дефекты зданий и сооружений. Усиление строительных конструкций» / ВИТУ. – СПб., 2007. – С. 57-62.

4. Гордиенко В.Е. К вопросу магнитного контроля и оценки НДС металла с применением графических и аналитических регрессионных зависимостей / В.Е. Гордиенко // Контроль. Диагностика. – 2008. – № 8. – С. 52-55.

5. Васильков С.Д. Оценка напряженно-деформированного состояния и ресурса стальных балок с помощью резистивного электроконтактного метода С.Д. Васильков, А.В. Улыбин // Материалы XIII научно-методич. конф. ВИТУ «Дефекты зданий и сооружений. Усиление строительных конструкций» / ВИТУ. – СПб. – 2009. – С. 39-43.

Для связи с автором: Улыбин Алексей Владимирович, ulybin@mail.ru