

ДЕЙСТВИЯ МАГНИТОУПРУГИХ И МАГНИТОАНИЗОТРОПНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ С УЛУЧШЕННЫМИ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ.

Мухаммадиев Бахтияр Сапарович

Старший преподаватель Джизакского Политехнического института
(тел: +998 93 302 11 32, e-mail: muhammadievbaxtiyr@gmail.com)

Annotation: in this article, based on the analysis of various designs of transformer converters of mechanical stresses, the question of the operation of magnetoelastic and magnetoanisotropic converters of mechanical stresses with improved metrological characteristics, where it has greater sensitivity and increased conversion accuracy due to signal processing according to a given algorithm, is considered.

Keywords: mechanical stress (MN), automatic control systems (ACS), concentration of mechanical stresses (CMN), magnetoelastic effect, gradients, electronic computers, anisotropy of magnetic properties, hysteresis, magnetoelastic converters, magnetoanisotropic converters, magnetic induction, operational amplifier (OP), the difference of the main mechanical stresses (RGMN).

Развитие науки и техники в Республике должно быть подчинено решению важных экономических задач. На основе использования достижений науки и техники необходимо ускорить внедрение систем автоматического управления с использованием современных микропроцессоров и микро-ЭВМ, внедрение автоматизированных методов и средств контроля качества и испытания продукции как составной части технологических процессов.

Эффективные и надежные системы автоматического управления (САУ) различными промышленными установками и технологическими процессами могут быть созданы лишь на базе эффективных и надежных средств автоматизации, в ряду которых первыми стоят преобразователи различных параметров этих процессов. Использование цифровых вычислительных машин в САУ поставило перед разработчиками проблему сопряжения ЭВМ со средствами восприятия информации. В связи с чем возникла большая практическая потребность в разработке первичных преобразователей с кодовым или цифровым выходом.

Из анализа различных конструкций трансформаторных преобразователей механических напряжений можно сделать вывод о том, что независимо от конструктивных особенностей преобразователей, в них происходит преобразование информации в трех физических цепях, а именно: механической, магнитной и электрической [1].

Одной и важнейших величин, используемой в САУ и характеризующей надежность элементов и узлов машин и механизмов, является механическое напряжение.

Основным методом преобразования механических напряжений в электрический сигнал, используемым в промышленности, является тензометрический. Обладая высокой точностью преобразования, тензометрический метод имеет ограниченное применение в САУ технологическими процессами из-за невозможности бесконтактного преобразования механических напряжений.

Наиболее перспективными бесконтактными преобразователями механических напряжений, действующих в объектах из ферромагнитных материалов, в электрический сигнал являются электромагнитные преобразователи, работающие с использованием магнитоупругого эффекта.

По принципу действия магнитоупругие преобразователи делятся на два класса:

- преобразователи механических напряжений в объекте, являющимся частью магнитной системы преобразователя;

- преобразователи механических усилий, действующих непосредственно на магнитную систему преобразователя.

Электромагнитные преобразователи механических напряжений обеспечивают:

Бесконтактное преобразование механических напряжений в электрический сигнал, удобной для дальнейшей обработки информации;

Преобразование механических напряжений при непрерывных технологических процессах;

Преобразование остаточных механических напряжений в электрический сигнал.

Однако в связи с большой производственной необходимостью остро стоит вопрос создания новых преобразователей, способных преобразовывать составляющие сложного напряженного состояния в электрический сигнал с высоким быстродействием и точностью, например, при проведении ремонтных работ на магистральных трубопроводах, при уменьшении остаточных напряжений в сварных швах трубопроводов, при оценке напряжений в ответственных деталях авиационной техники.

Для оценки эксплуатационной опасности состояния металла на участке не столь важны сами значения механических напряжений, как места их концентрации и скорости изменения напряжений (градиенты). Дело в том, что в центрах (в максимумах) концентрации механических напряжений (КМН) зарождаются дефекты. Это - генераторы дислокаций. Например, на нефтепроводах именно здесь развиваются свищи.

При достаточно высоких значениях градиентов эти дислокации начинают двигаться. Как результат, рождаются трещины. Если на обследованном участке нет зон повышенной концентрации МН и градиентов, то на этом участке металл не разрушится.

Магнитоупругие преобразователи механических напряжений нашли свое применение в различных отраслях промышленности и прежде всего в металлургии. В Республике и за рубежом накладные преобразователи механических напряжений применяются в системах управления натяжением прокатываемой ленты на прокатных станках.

Расширению числа разрабатываемых устройств с магнитоупругими преобразователями механических напряжений способствовали труды ученых – Б.Б.Тимофеева, М.М.Шеля, Ю.Я.Мехонцева, В.И.Чаплыгина, Г.Т.Орехова и других.

Наиболее исследованным классом преобразователей механических напряжений являются магнитоанизотропные преобразователи, используемые для преобразования линейного напряженного состояния.

Для исследования полей механических напряжений могут использоваться приборы, относящиеся к классу электромагнитных измерителей напряжений. Принцип их действия основан на использовании магнитоупругого эффекта, под которым понимается свойство ферромагнитных материалов изменять магнитное состояние под влиянием механических напряжений. На магнитоупругом эффекте основан принцип действия магнитоупругих и магнитоанизотропных преобразователей.

Сущность многопараметрового метода повышения точности заключается в следующем. Если выходная величина преобразователя зависит от двух или более неизвестных параметров, то для исключения влияния неинформативных параметров необходимо решить систему линейно независимых уравнений, число которых равно числу неизвестных параметров. Рассмотренная сущность метода нашла реализацию в ряде конструкций трансформаторных преобразователей механических напряжений компенсационного типа. Следует отметить, что в линейных трансформаторных преобразователях механических напряжений в отличие от двухчастотных электромагнитных преобразователей, изменениями параметрами являются геометрические размеры магнитопровода. Достоинством таких преобразователей является возможность преобразования составляющих сложного напряженного состояния [2].

Высокие значения погрешностей, получаемые при стандартном подходе к решению задачи, и игнорирование некоторых физических явлений долгое время являлись препятствием для внедрения

электромагнитных методов на практике. Известно, что верхний слой (до 0,2 мм) металла находится в нехарактерном для конструкции напряженном состоянии (наклеп, азотирование, цементация, механические микроцарапины и пр.). Из-за этого возникают трудности применения, например, приборов на основе эффекта Баркгаузена. Другими причинами низкой достоверности контроля механических напряжений с помощью электромагнитных полей являются магнитомеханический гистерезис и попытки получения результата по одному из параметров петли гистерезиса (например, только по коэрцитивной силе или только по остаточной индукции). К таким приборам относятся, например, измерители механических напряжений, использующие так называемый "эффект магнитной памяти" металла.

Основными источниками повреждения стальных строительных конструкций, в частности, предназначенных для транспортирования и хранения нефте-, газо- и других экологически опасных продуктов, являются зарождающиеся дефекты и зоны концентрации напряжений, в которых наиболее интенсивно протекают неблагоприятные для сооружения процессы (развитие нарушений сплошности, коррозия, пластические деформации и др.). Традиционные методы неразрушающего контроля не позволяют осуществлять раннюю диагностику и направлены на поиск развитых дефектов, что не всегда достаточно для обеспечения надежности диагностируемых объектов. Для своевременного выявления участков металлических конструкций, наиболее предрасположенных к повреждениям, необходимо знать их фактическое напряженно-деформированное состояние [3].

Все трансформаторные преобразователи имеют специфические причины погрешности, обусловленные протеканием тока во вторичных обмотках и изменением их сопротивления. Это мультипликативные погрешности, уменьшающиеся с уменьшением тока, потребляемого вторичным преобразователем. Погрешность отсутствует при измерении ЭДС первичного преобразователя компенсационным методом с помощью автоматического компенсатора [4].

Исследование зависимостей магнитных характеристик различных материалов от механических напряжений показали, что под действием механических напряжений изменяется форма петли гистерезиса, а именно происходит сжатие или расширение петли с одновременным изменением наклона в зависимости от знака действующих напряжений. Поэтому для преобразования механических напряжений в конструкционных сталях, имеющих сравнительно узкую петлю гистерезиса, в качестве меры изменения намагниченности от механических напряжений используется магнитная проницаемость материала, а для легированных сталей, имеющих более широкую петлю гистерезиса, форма петли гистерезиса, определяемая через значения амплитуд и фаз высших гармоник, содержащихся в электродвижущей силе электромагнитного преобразователя, а также основные характеристики петли гистерезиса остаточную индукцию B_r и коэрцитивную силу H_c [5]:

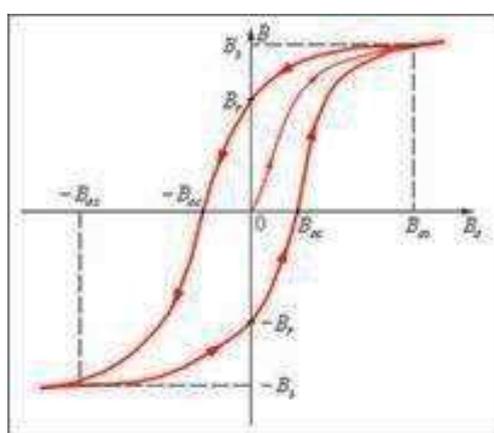


Рис.1. Петля гистерезиса.

Детальный учет физической природы явления, а также того факта, что вся полезная информация содержится в нескольких параметрах петли гистерезиса (рис.1), позволили разработать приборы. А также при этом потребовалось создать специальный алгоритм обработки информации.

Любая зависимость между B и σ имеет точку инверсии, после которой связь между B и σ становится обратной, т.е. один и тот же уровень выходного сигнала может быть получен для двух различных механических напряжений.

Такое явление магнитомеханического гистерезиса наблюдается, например, вблизи и в самой зоне пластического течения. А поскольку при монтаже стальных конструкций используется исходный материал, испытывавший в процессе подготовки и монтажа многочисленные знакопеременные механические воздействия, в том числе и местные пластические деформации, известные измерители напряжений нередко дают ложные результаты. Алгоритм обработки информации, получаемой с помощью приборов в частности, позволил решить проблему магнитомеханического гистерезиса [6]. Магнитоанизотропные («крестовые») преобразователи, с которыми работают приборы, представляют собой два взаимно-перпендикулярных П-образных магнитопровода, на одном из которых располагается обмотка возбуждения, на другом - измерительные обмотки. Преобразователи используют анизотропию магнитных свойств, возникающую в ферромагнетике при нагружении внешней силой, и свободны от недостатков приборов, использующих магнитоупругие преобразователи.

Установлено, что связь между механическими напряжениями и магнитными свойствами среды характеризуется магнитоупругой чувствительностью:

$$\Lambda_B = \frac{\partial B}{\partial \sigma}$$

где:

B - магнитная индукция (характеризуется величиной и направлением действия),

σ - механическое напряжение.

Принцип действия магнитоанизотропного преобразователя основан на эффекте поворота вектора магнитной индукции B , создаваемой первичной обмоткой в зоне измерений. Величина напряжения U на выходе измерительной обмотки ω описывается формулой

$$U = K B S_0 f_n \sin \beta \omega$$

где B - усредненное значение индукции;

S_0 - площадь, охватываемая обмоткой;

K - коэффициент пропорциональности;

β - угол между плоскостью измерительной обмотки и вектором магнитной индукции B ;

f_n - частота питающего напряжения.

Формула получена для одинакового направления векторов $\vec{\sigma}$ и \vec{B} . Поворот вектора \vec{B} можно характеризовать изменением его ортогональных составляющих.

Более детальный анализ показывает, что выходной сигнал «крестового» магнитоанизотропного преобразователя сразу (т.е. до какой-либо обработки) выдает сигнал, пропорциональный разности главных механических напряжений (РГМН) [7]:

$$\tau = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}$$

Полученный результат очень важен, так как согласно 3-у критерию прочности (критерий Треска) разрушение материала происходит, когда

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \geq \tau_T$$

Интегратор на ОУ в широком диапазоне соотношений постоянной времени генерируемого импульса приближается по своим свойствам

April 27th 2022

к идеальному, у которого зависимость выходной величины от входной выражается согласно формулы следующим образом [8]:

$$U_{\text{э вых.}}(t) = \frac{U_{\text{э вх.}}}{RC} t$$

Наибольшим быстродействием обладают транзисторные ключи, однако сопротивление открытого транзисторного ключа в сотни раз больше сопротивления замкнутых контактов электромагнитного реле. Одним из параметров, требующих оптимизации, является длительность импульса квадратично изменяющегося тока. С одной стороны, известно [3,4], что с увеличением длительности импульса увеличивается глубина проникновения электромагнитной волны, что снижает требования к качеству поверхностного слоя материала исследуемого объекта, но при этом снижается быстродействие и чувствительность преобразователя. С другой стороны, при уменьшении длительности импульса чувствительность увеличивается, но при некотором значении длительности импульса начинает уменьшаться из-за уменьшения коэффициента магнитоупругой чувствительности [9].

В результате внедрение в производство магнитоупругих и магнитоанизотропных преобразователей механических напряжений с улучшенными метрологическими характеристиками позволяет избежать ошибочных решений по «досрочному» ремонту конструкции, не позволяет пропустить опасное место даже в случаях, когда известные ультразвуковые, рентгеновские и другие приборы пропускают угрозу существованию конструкции. Это дает огромный экономический эффект, повышает безопасность инженерных конструкций, спасает экологию от последствий «техногенных катастроф» (взрывы трубопроводов, протечки нефтяных резервуаров и т.д.).

Список использованных источников:

1. Мухаммадиев Б.С. Математический модель накладных трансформаторных преобразователей механических напряжений //Актуальные вопросы современной науки и образования. – 2021. – с. 93-101.
2. Мухаммадиев Б.С. Динамическая погрешность накладных трансформаторных преобразователей механических напряжений //FRANCE, International scientific-online conference: “SCIENTIFIC APPROACH TO THE MODERN EDUCATION SYSTEM” PART 2, 5th MARCH, page 198-202.
3. Мухаммадиев Б.С. Выявление, анализ и классификация обобщенных приемов улучшения характеристик трансформаторных преобразователей механических напряжений //Международный научно-образовательный электронный журнал «Образование и наука в XXI веке». ISSN 2782-4365. Выпуск №24 (том 6) (март,2022). с. 1034-1040.
4. Мухаммадиев Б.С. Разработка конструкций трансформаторных преобразователей механических напряжений с улучшенными метрологическими характеристиками //PUBLISHED WITH E-CONFERENCE ZONE INTERNATIONAL DATABASE, HOSTED ONLINE FROM HAMBURG,GERMANY ON MARCH 15TH, 16TH, 2022. E Conference Zone.
5. Мухаммадиев Б.С. Накладные магнитоупругие преобразователи механических напряжений в системах автоматического управления //CANADA, International scientific-online conference: “INNOVATIVE DEVELOPMENTS AND RESEARCH IN EDUCATION” PART 4, 23th MARCH, page 69-73.
6. Жуков С.В., Жуков В.С., Копица Н.Н. Способ определения механических напряжений и устройство для его осуществления.// Патент РФ, №2195636 от 05.03.01, Бюл. №36, 27.12.02.
7. Жуков С.В., Копица Н.Н. Исследование полей механических напряжений в металлических конструкциях приборами «Комплекс-2»// Сб. научн. Трудов отд-я «Специальные проблемы транспорта» Росс. Академии транспорта, №3, 1998, с.214 – 222.

8. Мухаммадиев Б.С., Эргашева К.Н. Анализ источников погрешностей элементарного преобразователя электрического напряжения в обобщенное магнитное напряжения //Экономика и социум. – с. 212-216.
9. Мухаммадиев Б.С., Эшонкулова М.Н. Определение оптимальных соотношений параметров преобразователя механических напряжений с дискретным выходом //Экономика и социум. – с. 207-211.